

01163<sup>3</sup>  
2ej

FILTRACION Y ESTABILIDAD DE LOS REVESTIMIENTOS DE TUNELES CONSTRUIDOS  
EN EL VALLE DE MEXICO

FERNANDO JAVIER TREJO GOMEZ

TESIS

Presentada a la División de Estudios de  
Posgrado de la  
FACULTAD DE INGENIERIA  
de la  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
como requisito para obtener  
el grado de

MAESTRO EN INGENIERIA  
(Mecánica de Suelos)

CIUDAD UNIVERSITARIA. JULIO DE 1991.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCION.</b>	
1.1	ANTECEDENTES.	1
1.2	OBJETIVOS.	2
<b>2.</b>	<b>ANALISIS DE LA INFORMACION DE CAMPO.</b>	
2.1	GENERALIDADES.	4
2.2	INTERCEPTOR CENTRAL.	5
2.3	INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO.	16
2.4	COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA.	27
2.5	COLECTOR SEMIPROFUNDO CANAL NACIONAL-CHALCO.	34
<b>3.</b>	<b>ASPECTOS TEORICOS.</b>	
3.1	GENERALIDADES.	39
3.2	MODELO ANALITICO.	40
3.3	RESULTADOS.	51
3.4	COMENTARIOS.	55
<b>4.</b>	<b>COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES.</b>	<b>56</b>
<b>5.</b>	<b>FIGURAS Y TABLAS.</b>	<b>62</b>
<b>6.</b>	<b>REFERENCIAS.</b>	<b>148</b>

# S I M B O L O G I A

- $A$  : Parámetro definido por la ecuación (1)  
 $a$  : Radio del túnel  
 $B'_d$  : Parámetro definido por la ecuación (16)  
 $\cos$  : coseno  
 $C_v$  : Coeficiente de consolidación  
 $\text{div}$  : divergencia  
 $E$  : Módulo de elasticidad del concreto  
 $F$  : Fuerza de reacción en el punto A  
 $\text{grad}$  : gradiente  
 $H$  : Lugar geométrico a partir del cuál inicia el flujo transitorio  
 $H_m$  : Profundidad media del túnel  
 $h$  : Zona afectada por la variación del potencial hidráulico  
 $h'$  : Profundidad del nivel freático  
 $I$  : Momento de Inercia  
 $\ln$  : logaritmo natural  
 $M$  : Momento flexionante  
 $N$  : Esfuerzo normal  
 $M_A$  : Momento flexionante en el punto A  
 $N_A$  : Esfuerzo normal en el el punto A  
 $P$  : Resultante de las fuerzas horizontales  
 $P_a$  : Presión del aire en el interior del túnel  
 $P/\gamma_w$  : Carga de presión hidráulica  
 $Q$  : Resultante de las fuerzas verticales  
 $\text{sen}$  : seno  
 $t$  : tiempo  
 $u, u_s$  : componentes del vector desplazamiento  
 $V$  : Esfuerzo cortante  
 $Z$  : Número complejo  
 $\alpha_1, \alpha_2$  : Angulos formados por las líneas de flujo y la horizontal  
 $\beta$  : Constante definida en la expresión (6)  
 $\gamma_w$  : Peso volumétrico del agua  
 $\gamma_{xy}$  : Deformación angular unitaria  
 $\delta_t, \delta_e$  : Desplazamientos del radio del túnel, teóricos y experimentales

- $\epsilon_x, \epsilon_y$  : Deformaciones unitarias en las direcciones x, y  
 $\varphi$  : Función potencial de deformaciones  
 $\phi$  : Diámetro del túnel  
 $\Psi$  : Función potencial complejo  
 $\psi'$  : Función que representa el conjunto de líneas equipotenciales  
 $\psi''$  : Función que representa el conjunto de líneas de flujo  
 $\lambda, G$  : Constantes de Lamé  
 $\theta$  :  $\epsilon_x + \epsilon_y$  Deformación volumétrica unitaria  
 $\theta$  : Angulo  $\theta$   
 $\mu$  : Relación de Poisson  
 $\omega$  : Potencial hidráulico  
 $\vec{\rho}$  : Vector desplazamiento  
 $\bar{\sigma}_x, \bar{\sigma}_y$  : Esfuerzos efectivos en las direcciones x, y  
 $\tau_{xy}$  : Esfuerzo cortante  
 $\sigma_r, \tau_{r\theta}$  : Esfuerzos radial y cortante, respectivamente  
 $\xi$  : Angulo  $\xi$   
 $\nabla^2$  : Laplaciano

## 1. INTRODUCCION.

### 1.1 ANTECEDENTES.

La excavación de túneles en suelos blandos ha adquirido gran auge debido al crecimiento de las grandes ciudades y al desarrollo de los avances tecnológicos en la construcción. En la actualidad representa un serio reto a la capacidad intelectual y técnica del ingeniero civil.

Existen dos aspectos fundamentales que deben considerarse en el diseño y construcción de túneles: la estabilidad del frente de excavación y - las deformaciones inducidas a corto, mediano y largo plazo.

Del problema de la estabilidad del frente, se sabe que al excavar un túnel se produce la alteración del estado de esfuerzos iniciales. En el frente los esfuerzos son tridimensionales, transformándose a bidimensionales conforme avanza la excavación.

La modificación de las presiones hidráulicas y de los esfuerzos efectivos en el terreno, generan esfuerzos cortantes e inducen deformaciones que varían con el tiempo de acuerdo con sus propiedades viscoplásticas.

Una vez concluida la excavación e instalado el revestimiento primario, existen potencialmente tres fenómenos que pueden provocar deformaciones en el revestimiento del túnel: el hundimiento regional, producido por - la explotación de los mantos acuíferos; las fuerzas de filtración, generadas por la permeabilidad del revestimiento; y el creep que experimenta el concreto debido a las características mecánicas de los agregados utilizados en su fabricación.

En este escrito se pretende analizar el comportamiento de los revestimientos de túneles construidos en la cd. de México, comparando la información de campo con los resultados de un procedimiento analítico.

El modelo permite evaluar las deformaciones generadas por las fuerzas de filtración y su efecto sobre los elementos mecánicos.

## 1.2 OBJETIVOS.

Este trabajo explica un método de análisis para estimar la influencia de la filtración de agua hacia el túnel y la determinación de los parámetros que rigen el comportamiento mecánico de los sistemas de soporte.

Su propósito es racionalizar el diseño estructural de los revestimientos, teniendo como objetivos específicos:

- a) Analizar el comportamiento mecánico de los revestimientos de túneles construidos en suelos blandos, principalmente aquellos localizados en el área de la zona del lago, dentro del Valle de México.
- b) Justificar la importancia de la impermeabilidad del revestimiento primario en túneles construidos debajo del nivel freático, por sus efectos a través del tiempo, tratando de dar una explicación a las deformaciones observadas en algunos túneles del Sistema de Drenaje de la ciudad de México.
- c) Comparar los datos experimentales con los resultados teóricos y verificar la influencia de las hipótesis de trabajo consideradas en el desarrollo del modelo analítico.
- d) Determinar el estado de esfuerzos generado por las fuerzas de filtración y la variación de los momentos flexionantes, esfuerzos cortantes y normales; así como los desplazamientos que se suscitan sobre el revestimiento.

- e) Evaluar cualitativamente la importancia del diseño y construcción del revestimiento secundario como estructura de soporte del túnel.
  
- f) Señalar la importancia de la instrumentación de campo para el diseño y construcción de los revestimientos de futuros túneles, tomando en cuenta que la información existente es muy limitada.



## 2. ANALISIS DE LA INFORMACION DE CAMPO.

### 2.1 GENERALIDADES.

En la construcción de cualquier obra civil, y en especial la construcción de túneles, la instrumentación de campo suele ser de vital importancia ya que permite detectar situaciones de riesgo y definir los parámetros de diseño, aclarando las incertidumbres del análisis teórico.

Las principales mediciones que deben realizarse durante la construcción y operación de un túnel son: los asentamientos en la superficie del terreno; los movimientos de la periferia del túnel; los desplazamientos - verticales y horizontales del subsuelo; y la determinación de las presiones hidráulicas en la masa de suelo.

En nuestro caso, se ha recopilado una serie de datos obtenidos a través de piezómetros y extensómetros de convergencia, instalados en distintos tramos de túneles que forman parte del Sistema General de Drenaje de la ciudad de México. Los primeros han registrado los cambios en las presiones hidráulicas. La instrumentación de las secciones de convergencia tiene como finalidad correlacionar las mediciones de campo con los resultados del cálculo.

Del análisis de la información, se observó la existencia de filtraciones al interior de los túneles, debidas a la permeabilidad del revestimiento primario, al realizar la excavación y provocar una diferencia de potencial hidráulico entre el nivel freático y la periferia del túnel.

Dependiendo de las condiciones estratigráficas, el fenómeno ocurre de - dos maneras: a partir de una condición estática; y cuando la presencia de estratos más permeables que las arcillas, ubicados por arriba de la clave del túnel, permiten la recuperación de los niveles, incrementando la magnitud de las presiones y de los gradientes hidráulicos.

En ambos casos, la generación de fuerzas de filtración incrementan las deformaciones del revestimiento.

Uno de los objetivos se refiere al estudio del comportamiento de los revestimientos a largo plazo. Con este criterio, fueron seleccionados 4 túneles, en tramos correspondientes al Interceptor Central, Interceptor Centro-Centro, Colector Semiprofundo Iztapalapa y Colector Canal Nacional-Chalco, según se muestra en el plano de localización de la fig. 1.

A lo largo de este capítulo, se presentan con detalle los resultados de piezometría y de las secciones de convergencia. Sin embargo, es importante recalcar que el propósito principal es la comparación de los desplazamientos observados con los teóricos, registrados en el curso del tiempo.

## 2.2 INTERCEPTOR CENTRAL.

### TRAMO ENTRE LAS LUMBRERAS 5 Y 6.

#### 2.2.1 DATOS GENERALES.

LOCALIZACION: Dr. Vértiz y Dr. Velasco  
entre Dr. Durán y Cuauhtémoc

PROFUNDIDAD MEDIA: 23.6 m

DIAMETRO EXTERIOR: 6.10 m

DIAMETRO INTERIOR: 5.60 m

LONGITUD: 1448 m

PERIODO DE CONSTRUCCION: Julio de 1985 a Octubre de 1987

METODO CONSTRUCTIVO: Durante la construcción se utilizó un escudo de frente abierto con aire comprimido, de 6.24 m de diámetro, formando el revestimiento primario a base de dovelas de concreto reforzado.

Inyectando a presión mezclas de mortero-cemento-lodo bentonítico, se logró el contacto entre el terreno natural y la estructura. El revestimiento secundario fue construido mediante una capa de concreto lanzado, armado, aproximadamente de 25 cm de espesor.

### 2.2.2 ESTRATIGRAFIA.

El sitio de la obra queda comprendido en la zona del lago. El túnel se localiza dentro de la formación arcillosa superior, consistente en arcillas de alta compresibilidad con intercalaciones de limo, arena fina y vidrio volcánico. El nivel freático se encontró a 2.73 m de profundidad, y la primera capa dura a 33.8 m de la superficie.

### 2.2.3 PIEZOMETRIA.

Paralelas al trazo del túnel se instalaron 4 estaciones piezométricas, realizando mediciones a partir de agosto de 1985 hasta agosto de 1987. También se obtuvo información de 5 pozos de observación, cercanos a la zona: P-184, P-195, P-208, P-243 y P-247; cuyos datos fueron recopilados por la Comisión Nacional del Agua, en el lapso de 1970 a 1989.

Las presiones hidráulicas consideradas en el análisis, están referidas a los cambios de magnitud experimentados a la profundidad del nivel de la clave del túnel. Denominando abatimiento o incremento total al resultado final de las observaciones efectuadas durante la etapa de medición, con relación a las lecturas iniciales.

#### 2.2.3.1 Estación E-1

*Localización: Km 1+270*

*Fecha de Instalación: 21-Ago-85*

*Ultima Medición: 31-Ago-87*

La primera lectura muestra un incremento de  $0.6 \text{ t/m}^2$ , respecto a la condición hidrostática, fig. 2. Posteriormente y hasta enero de 1986, se registró, gradualmente, una caída de presión de  $1.6 \text{ t/m}^2$ ; al siguiente mes, se presentó una ligera recuperación de  $0.4 \text{ t/m}^2$ ; y hacia el final del periodo de observación, una reducción de  $0.2 \text{ t/m}^2$ . El abatimiento total fue de  $1.4 \text{ t/m}^2$ .

#### 2.2.3.2 Estación E-2

*Localización: Km 0+970*

*Fecha de Instalación: 21-Ago-85*

*Ultima Medición: 31-Ago-87*

Inicialmente la presión hidráulica fue ligeramente superior a la hidrostática,  $0.2 \text{ t/m}^2$ . En puntos situados a mayor profundidad que la clave, las magnitudes resultaron ser menores, como lo indica la fig. 3.

Con el transcurso del tiempo, entre cada periodo se tuvieron caídas de presión del orden de  $0.5$  a  $0.9 \text{ t/m}^2$ , lo que significó un abatimiento de  $3.0 \text{ t/m}^2$ , a lo largo de 2 años.

#### 2.2.3.3 Estación E-3

*Localización: Km 0+504*

*Fecha de Instalación: 24-Jun-86*

*Ultima Medición: 31-Ago-87*

De junio a septiembre de 1986, la presión hidráulica disminuye  $0.5 \text{ t/m}^2$ . Al mes siguiente, cuando comienza la excavación, se presenta un cambio abrupto que genera la reducción de las presiones. En octubre y noviembre de ese año, los decrementos alcanzan magnitudes de  $2.6$  y  $3.1 \text{ t/m}^2$ , respectivamente, fig. 4.

Observando un corte estratigráfico del sitio se identifica la presencia de un lente de vidrio volcánico, punto en donde fue instalado un piezómetro, lo que permitió el registro de importantes cambios de presión como los mencionados.

Durante los siguientes periodos los niveles muestran una recuperación, registrando presiones de 1.5 y 1.1  $t/m^2$ . Al concluir el ciclo de medición, el abatimiento total fue de 3.6  $t/m^2$ .

#### 2.2.3.4 Estación E-4

*Localización: Km 0+393*

*Fecha de Instalación: 27-Oct-86*

*Ultima Medición: 31-Ago-87*

La estación registró datos correspondientes a un periodo de 10 meses, presentando una reducción de los niveles piezométricos que dieron como resultado un abatimiento de 1.3  $t/m^2$ , según se señala en la fig. 5.

#### 2.2.3.5 Pozo 184-2

*Localización: entre Puente de Alvarado y Guerrero, a 2100 m de la lumbrera no. 6*

*Periodo Observado: Junio de 1970 a Mayo de 1989*

La evolución piezométrica de la zona exhibe una notable recuperación de los niveles, manifestando su completa estabilización en los últimos 4 años, como lo indica la gráfica de la fig. 6.

#### 2.2.3.6 Pozo 195

*Localización: entre Durango y Orizaba, a 600 m de la lumbrera no. 6*

*Periodo Observado: Junio de 1970 a Mayo de 1989*

El comportamiento hidrodinámico del sitio ha sido muy irregular. De un periodo a otro presentó incrementos y abatimientos de manera alternada, sin llegar a estabilizarse. Los cambios más notables tuvieron lugar en profundidades superiores a los 24 m.

Durante la excavación se registró un incremento de presión hidráulica de  $0.4 \text{ t/m}^2$ , según se aprecia en la fig. 7.

#### 2.2.3.7 Pozo 208

*Localización: entre Insurgentes Centro y Sullivan, a 1500 m de la lumbrera no. 6*

*Periodo Observado: Junio de 1975 a Mayo de 1989*

Los niveles piezométricos han permanecido muy estables, experimentando, en el periodo considerado, incrementos y caídas de presión de manera alternada, con variaciones en un rango no mayor a  $0.6 \text{ t/m}^2$ .

Los cambios más significativos fueron localizados después de los primeros 30 m de profundidad, fig. 8. De 1985 a 1989 estuvo sometido a un incremento de  $0.4 \text{ t/m}^2$ .

#### 2.2.3.8 Pozo 243

*Localización: entre Sonora y Oaxaca, a 1800 m de la lumbrera no. 6*

*Periodo Observado: Junio de 1970 a Mayo de 1989*

Aproximadamente en los primeros 13 m de profundidad y durante la etapa de medición, las presiones hidráulicas disminuyeron, esto pudo deberse a la permeabilidad de los estratos de limo encontrados en ese lugar.

A mayor profundidad, se presentaron aumentos y reducciones de presión, alternadamente. Los más importantes fueron encontrados a partir de los 20 m. Entre 1985 y 1989, se midió un incremento de  $0.5 \text{ t/m}^2$ , fig. 9.

### 2.2.3.9 Pozo 247

Localización: entre Bolívar y Carranza, a 1800 m de la lumbrera 5A.

Periodo Observado: Junio de 1970 a Mayo de 1989

Su comportamiento hidráulico es sumamente irregular, los niveles piezométricos varían considerablemente entre cada periodo. Durante la etapa de construcción, el pozo registró un incremento de  $0.6 \text{ t/m}^2$ , fig. 10.

### 2.2.3.10 Comentarios

Se observa que las estaciones piezométricas manifestaron marcada tendencia a la reducción de las presiones, ocasionando con ello un proceso de consolidación de la masa de suelo en torno al túnel.

De acuerdo a la instrumentación, las estaciones midieron los siguientes abatimientos: E-1 = 1.4, E-2 = 3.0, E-3 = 3.6 y E-4 =  $1.3 \text{ t/m}^2$ .

En los últimos 4 años, los pozos experimentaron una ligera recuperación de los niveles. Los incrementos de presión alcanzaron un valor promedio de  $0.5 \text{ t/m}^2$ ; de manera que su comportamiento hidrodinámico resultó ser opuesto al de las estaciones.

La diferencia entre ambos induce a pensar que el fenómeno observado se deriva de la filtración local de agua hacia el túnel. Los pozos de observación señalan que es reducido el efecto del bombeo regional.

### 2.2.4 SECCIONES DE CONVERGENCIA.

A través de las deformaciones que la masa de suelo experimenta alrededor del túnel, es posible determinar el decremento de los esfuerzos horizontales totales ocasionados por el flujo de agua a su interior.

Para ello es analizada la información obtenida mediante la instrumentación de 28 secciones de convergencia, perpendiculares al eje del túnel, situadas en un tramo de 100 m, aledaño a cada estación. Los desplazamientos corresponden a lecturas tomadas sobre el diámetro horizontal.

#### 2.2.4.1 Estación E-1

*Localización:* Km 1+270

*Fecha de Instalación:* 21-Ago-85

*Ultima Medición:* 31-Ago-87

Anillo	Caden. (km)	Periodo de Observación	Revestim. Primario	Revestim. Secundar.	Despl. (cms)
138	1+332	20-ago-85 30-mar-87	20-ago-85	15-oct-87	2.4
140	1+329	27-ene-86 12-ago-87	21-ago-86	13-oct-87	1.6
163	1+311	27-oct-85 21-ago-87	27-ago-85	13-oct-87	0.0
178	1+299	27-oct-85 24-ago-87	3-sep-85	12-oct-87	0.5
219	1+265	18-sep-85 12-ago-87	6-sep-85	5-oct-87	4.7
249	1+241	9-oct-85 24-abr-87	17-sep-85	3-oct-87	4.0
251	1+235	24-dic-85 24-abr-87	30-sep-85	1-oct-87	3.2

#### 2.2.4.2 Estación E-2

*Localización:* Km 0+970

*Fecha de Instalación:* 21-Ago-85

*Ultima Medición:* 1-Sep-87



Anillo	Caden. (km)	Periodo de Observación	Revestim. Primario	Revestim. Secundar.	Despl. (cms)
462	1+072	5-mar-86 26-ago-87	5-mar-86	20-sep-87	8.0
496	1+044	15-mar-86 24-ago-87	15-mar-86	18-sep-87	4.8
532	1+016	2-abr-86 24-ago-87	24-mar-86	15-sep-87	3.0
565	0+989	4-abr-86 24-ago-87	2-abr-86	14-sep-87	3.4
598	0+963	6-may-86 3-ago-87	9-abr-86	12-sep-87	2.7
655	0+917	12-may-86 24-ago-87	20-abr-86	8-sep-87	2.4
686	0+892	22-may-86 6-ago-87	27-abr-86	7-sep-87	1.4

### 2.2.4.3 Estación E-3

Localización: Km 0+504

Fecha de Instalación: 24-Jun-86

Ultima Medición: 31-Ago-87

Anillo	Caden. (km)	Periodo de Observación	Revestim. Primario	Revestim. Secundar.	Despl. (cms)
1079	0+572	3-oct-86 9-jun-87	2-oct-86	6-ago-87	3.7
1112	0+547	11-oct-86 12-may-87	11-oct-86	4-ago-87	2.5
1146	0+518	21-oct-86 10-jun-87	21-oct-86	1-ago-87	3.4
1180	0+496	29-oct-86 9-jul-87	29-oct-86	31-jul-87	3.8
1207	0+469	3-nov-86 9-jul-87	9-nov-86	29-jul-87	2.3

Anillo	Caden. (km)	Periodo de Observación	Revestim. Primario	Revestim. Secundar.	Despl. (cms)
1238	0+445	9-nov-86 1-jul-87	9-nov-86	27-jul-87	3.0
1262	0+426	14-nov-86 9-jul-87	14-nov-86	27-jul-87	1.4

#### 2.2.4.4 Estación E-4

Localización: Km 0+393

Fecha de Instalación: 27-Oct-86

Ultima Medición: 31-Ago-87

Anillo	Caden. (km)	Periodo de Observación	Revestim. Primario	Revestim. Secundar.	Despl. (cms)
1238	0+445	9-nov-86 1-jul-87	9-nov-86	27-jul-87	3.0
1262	0+426	14-nov-86 9-jul-87	14-nov-86	27-jul-87	1.4
1283	0+409	18-nov-86 9-jul-87	18-nov-86	21-jul-87	1.4
1312	0+386	27-nov-86 9-jul-87	27-nov-86	21-jul-87	3.9
1344	0+360	2-dic-86 9-jul-87	2-dic-86	20-jul-87	2.2
1376	0+335	9-dic-86 9-jul-87	9-dic-86	18-jul-87	3.7
1415	0+303	17-dic-86 9-jul-87	17-dic-86	15-jul-87	3.7

#### 2.2.4.5 Comentarios

Teóricamente las secciones de cada estación deben medir desplazamientos muy semejantes entre sí, sin embargo, la información de campo presenta valores muy dispersos.

Para comprender el fenómeno es necesario considerar, básicamente, dos problemas: el efecto del flujo de agua hacia el túnel y la influencia del procedimiento constructivo.

El primero está asociado a la permeabilidad del revestimiento primario, propiciando la generación de fuerzas de filtración que modifican el estado de esfuerzos y provocan deformaciones del revestimiento.

El uso de un escudo de frente abierto, auxiliado con aire comprimido, - requiere analizar la influencia de la presión del aire en la cámara de trabajo, y la presión de inyección del mortero para rellenar el espacio anular entre el suelo y las dovelas.

Los siguientes párrafos hacen referencia a ciertos aspectos, en alusión al comportamiento observado.

a) Al graficar las presiones hidráulicas correspondientes a la profundidad media del túnel, fig. 15, la estación E-1 registra en los primeros 3 meses una caída de presión, y posteriormente se estabiliza.

Su efecto sobre el comportamiento de las secciones se manifiesta incrementando el desplazamiento inicial y, con el transcurso del tiempo, la velocidad de deformación disminuye paulatinamente, fig. 11.

La estación E-2 exhibe un abatimiento constante que se refleja en la pendiente de las gráficas de convergencia, a través de un continuo incremento de los desplazamientos, fig. 12.

Entre junio y diciembre, la estación E-3 registró una considerable reducción de la presión, las secciones estuvieron sometidas a fuertes desplazamientos, fig. 13; pero a partir de diciembre, los movimientos tienden a frenar, justamente cuando la presión hidráulica se recupera gradualmente.

Finalmente, la estación E-4 exhibe una velocidad de abatimiento que se reduce después de los primeros 2 meses de medición. En este caso los desplazamientos iniciales fueron de magnitud considerable, - cuya velocidad decreció al reducirse la velocidad del abatimiento, como se muestra en la fig. 14.

Bajo tales circunstancias, las secciones tenderían a estabilizarse puesto que el flujo de agua disminuye; sin embargo, se visualizan movimientos que dependen de otros factores, en especial, del proceso constructivo.

- b) En las estaciones E-1 y E-2, el margen entre la instalación del revestimiento primario y la primera medición es variable en cada sección. Para E-1 el máximo fue de 158 días, y se observó en el anillo 140; en E-2 resultó ser de 27 días, en la dovela 598. En las estaciones E-3 y E-4 ambas fechas coinciden.
- c) Para la mayoría de los casos, la primera lectura fue tomada inmediatamente colocado el revestimiento, cuando aún la dovela se encontraba en el interior del faldón del escudo.

Esto propició un desplazamiento adicional debido al movimiento generado por la salida del anillo y su colocación dentro del túnel. El fenómeno se aprecia en el anillo 138 de la estación E-1, alcanzando un valor de 0.3 cm.

Los desplazamientos en E-2 fueron de 2.6, -0.1 y 0.5 cm, registrados por las secciones 462, 496 y 565, respectivamente. En las estaciones E-3 y E-4, oscilan entre 0.0 y 2.0 cm; encontrando los de mayor magnitud en las secciones 1146 y 1312.

- d) Sin excepción de tramo alguno y durante toda la construcción se suscitaban cambios en la presión de la cámara de trabajo, motivando en algunas secciones el incremento de los desplazamientos y la aceleración de la velocidad de deformación.

Su efecto más notable es observado en los anillos 249 y 251, de la estación E-1, que se combina con la salida e instalación del revestimiento primario y la reducción de la presión de 0.8 a 0.0 kg/cm<sup>2</sup>, de acuerdo a la información referida en la tabla 1.

- e) Un factor adicional al desplazamiento inicial, tuvo su origen en la variación de la presión de inyección. Desafortunadamente los datos al respecto son muy limitados y no permiten un análisis con mayor detalle. En la tabla 2 se citan algunas magnitudes.
- f) La estación E-1 estuvo sujeta a diversas acciones sísmicas. Sin embargo, únicamente aquellas registradas en septiembre de 1985 lograron acelerar, notablemente, la velocidad de deformación e incrementar los desplazamientos, como sucedió en los anillos 138 y 219.
- g) Durante el mes de abril de 1986, las secciones 462, 496, 532 y 565, de la estación E-2, registraron movimientos. Los informes proporcionados por la D.G.C.O.H., reportan el "ajuste" de los instrumentos de medición, lo que puede justificar los aparentes desplazamientos.
- h) El desplazamiento promedio fue de 3.0 cm, que corresponde a una deformación unitaria de 0.005, respecto al diámetro interior del túnel. Si la permisible es 0.002, (Peck 1969), la generación de grietas es inevitable; sin embargo, por las características de los agregados del concreto fabricado en la ciudad de México, se considera que el creep permite una magnitud hasta de 0.006, (ref. 23).

Es importante observar que el desplazamiento máximo fue de 8 cm, registrado en la sección 462, de la estación E-2.

- i) La etapa de observación fue diferente en cada sección. Para comparar la magnitud de los desplazamientos, debe considerarse un mismo periodo de referencia, que en este caso será el menor.

## 2.3 INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO.

TRAMO ENTRE LAS LUMBRERAS L2ICC Y L410.

### 2.3.1 DATOS GENERALES.

LOCALIZACION: José Ma. Roa Bárcenas  
entre San A. Abad y Fco. del Paso y Troncoso

PROFUNDIDAD MEDIA: 22.0 m

DIAMETRO EXTERIOR: 6.10 m

DIAMETRO INTERIOR: 5.60 m

LONGITUD: 2035 m

PERIODO DE CONSTRUCCION: Mayo de 1987 a Enero de 1989

METODO CONSTRUCTIVO: Se empleó un escudo de frente cerrado, presurizado con lodo bentonítico, de 6.24 m de diámetro. El revestimiento primario se construyó mediante dovelas de concreto reforzado; inyectando mezclas de mortero-cemento-lodo bentonítico en el espacio dejado por la herramienta de corte. El revestimiento secundario se formó con una capa de concreto lanzado, armado, de 25 cm de espesor.

### 2.3.2 ESTRATIGRAFIA.

De acuerdo con la zonificación del Valle de México, el túnel se localiza en la zona del lago, a una profundidad media de 22 m. El perfil estratigráfico está compuesto por arcillas y limos de alta compresibilidad, intercalados con estratos de arena fina.

El nivel freático se encontró a 3.12 m de la superficie y, la primera capa dura, constituida por limos arenosos compactos, a 34 m de profundidad.

### 2.3.3 PIEZOMETRIA.

Desde el inicio de la construcción fueron instaladas 5 estaciones piezométricas: EP-1, EP-2, EP-L3, EP-3 y EP-4, procediendo a medirlas periódicamente. También fue recopilada la información del pozo de observación: P-501-1, aledaño al sitio de la obra.

Se analiza el comportamiento hidráulico de las estaciones y del pozo, haciendo referencia a las magnitudes de presión registradas a la profundidad de la clave del túnel.

#### 2.3.3.1 Estación EP-1

*Localización: Km 2+210*

*Fecha de Instalación: 1-Sep-87*

*Ultima Medición: 30-Jun-89*

Su comportamiento estuvo definido por la reducción de la presión hidráulica. Los cambios más notables fueron: de septiembre a octubre de 1987, disminuye  $0.6 \text{ t/m}^2$ ; al mes siguiente, se recupera y alcanza un incremento de  $0.8 \text{ t/m}^2$ ; en diciembre del mismo año, se reduce  $1.5 \text{ t/m}^2$ . Según la gráfica de la fig. 16, el abatimiento total resultó ser de  $1.2 \text{ t/m}^2$ .

#### 2.3.3.2 Estación EP-2

*Localización: Km 2+820*

*Fecha de Instalación: 20-Oct-87*

*Ultima Medición: 30-Jun-87*

La estación presentó un comportamiento hidrodinámico muy errático, quizás debido a la ubicación del piezómetro localizado a 22 m de profundidad, en un estrato de limo, cuya permeabilidad respecto a la de las arcillas lo hace más sensible a los cambios que experimentados en la masa de suelo.

En resumen, los incrementos de presión se registraron: de octubre a noviembre de 1987,  $1.7 \text{ t/m}^2$ ; de diciembre del mismo año a enero de 1988,  $1.3 \text{ t/m}^2$ ; y de febrero a marzo de 1988,  $1.6 \text{ t/m}^2$ .

Los abatimientos que se presentaron fueron: de noviembre a diciembre de 1987,  $0.5 \text{ t/m}^2$ . Durante el siguiente año, de enero a febrero,  $0.8 \text{ t/m}^2$ ; de marzo a abril,  $2.9 \text{ t/m}^2$ ; y de abril a diciembre,  $0.7 \text{ t/m}^2$ . El abatimiento resultante fue de  $0.2 \text{ t/m}^2$ , fig 17.

#### 2.3.3.3 Estación EP-L3

*Localización: Km 2+900*

*Fecha de Instalación: 1-Abr-88*

*Ultima Medición: 30-Jun-89*

Con excepción de un incremento de  $1.2 \text{ t/m}^2$ , registrado de marzo a abril de 1988, los piezómetros indicaron un continuo decremento de la presión en el resto del periodo, observando un abatimiento total de  $3.4 \text{ t/m}^2$ .

Existe cierta incertidumbre en lo descrito por la ubicación del piezómetro instalado en arcilla, a 18 m de profundidad. Su respuesta puede reflejar un efecto remanente de la disipación de la presión de poro, sin embargo, otro piezómetro situado a 26 m, en un limo, experimentó un comportamiento similar, fig. 18.

#### 2.3.3.4 Estación EP-3

*Localización: Km 3+220*

*Fecha de Instalación: 6-Abr-88*

*Ultima Medición: 30-Jun-89*

En la fig. 19, las presiones hidráulicas observan un comportamiento muy irregular, los piezómetros situados a 17.5 y 27 m de profundidad, registraron abruptos cambios.



El primero se ubicó en una frontera de arena-arcilla y el segundo en un estrato de limo. Durante el periodo considerado se presentó un incremento de  $1.0 \text{ t/m}^2$ .

#### 2.3.3.5 Estación EP-4

*Localización: Km 3+740*

*Fecha de Instalación: 15-Sep-87*

*Ultima Medición: 31-Dic-89*

La evolución de los niveles piezométricos exhiben una reducción constante de presión, que implicó un abatimiento total de  $0.8 \text{ t/m}^2$ ; con excepción del incremento registrado al inició de la excavación de  $0.2 \text{ t/m}^2$ , como lo señala la gráfica de la fig. 20.

#### 2.3.3.6 Pozo 501-1

*Localización: Calzada de la Viga, a 1650 m de la lumbrera no. 3 ICC.*

*Periodo observado: Junio de 1970 a Mayo de 1989*

Durante los años setenta se verificaron incrementos de presión hidráulica, pero a partir de 1980 y hasta junio de 1985, la tendencia se invierte. Finalmente, en el lapso de los últimos 4 años, fue medido un incremento de  $0.4 \text{ t/m}^2$ , fig. 21.

#### 2.3.3.7 Comentarios

Al comenzar la excavación, todas las estaciones experimentaron incrementos de presión, este hecho parece estar asociado al proceso de construcción y a las condiciones estratigráficas del sitio. En las estaciones EP-2, EP-L3 y EP-3, figs. 17, 18 y 19, alcanzaron magnitudes considerables a raíz de los esfuerzos cortantes inducidos en la masa de suelo.

Al comparar el comportamiento de las estaciones piezométricas con el registrado por el pozo, resulta que el fenómeno observado en la masa de suelo, en torno al túnel, es provocado por la permeabilidad del revestimiento primario.

En efecto y con excepción de EP-3, en las otras estaciones se generan abatimientos por la filtración de agua hacia el túnel, induciendo hundimientos locales del terreno.

También es importante notar la influencia del revestimiento definitivo o secundario, al reducir gradualmente las infiltraciones y la estabilización de las secciones de convergencia.

#### 2.3.4 SECCIONES DE CONVERGENCIA.

Para estudiar el efecto que producen los cambios de presión hidráulica en el comportamiento mecánico del túnel, fueron seleccionadas 32 secciones de convergencia, localizadas en tramos de 100 m, aledaños a las estaciones piezométricas. Su comportamiento es descrito por las gráficas de las figuras 22 a la 26.

##### 2.3.4.1 Estación EP-1

Localización: Km 2+210

Fecha de Instalación: 1-Sep-87

Ultima Medición: 30-Jun-89

Anillo	Caden. (km)	Periodo de Observación	Revestim. Primario	Revestim. Secundar.	Despl. (cms)
427	2+125	1-sep-87 30-jun-89	27-ago-87	18-jun-88	5.0
455	2+153	3-sep-87 30-jun-89	1-sep-87	17-jun-88	4.5

Anillo	Caden. (km)	Periodo de Observación	Revestim. Primario	Revestim. Secundar.	Despl. (cms)
484	2+182	6-sep-87 30-jun-89	3-sep-87	16-jun-88	4.0
524	2+222	9-sep-87 30-jun-89	6-sep-87	15-jun-88	4.0
563	2+260	11-sep-87 30-jun-89	9-sep-87	12-jun-88	2.6
597	2+294	15-sep-87 30-jun-89	12-sep-87	11-jun-88	2.5
627	2+324	18-sep-87 30-jun-89	15-sep-87	9-jun-88	2.1

#### 2.3.4.2 Estación EP-2

Localización: Km 2+820

Fecha de Instalación: 20-Oct-87

Ultima Medición: 15-Dic-88

Anillo	Caden. (km)	Periodo de Observación	Revestim. Primario	Revestim. Secundar.	Despl. (cms)
1060	2+756	1-nov-87 30-jun-89	29-oct-87	24-abr-88	2.0
1085	2+780	5-nov-87 30-jun-89	3-nov-87	22-abr-88	2.1
1104	2+798	7-nov-87 30-jun-89	6-nov-87	20-abr-88	1.8
1122	2+816	10-nov-87 30-jun-89	8-nov-87	18-abr-88	2.0
1130	2+824	10-nov-87 30-jun-89	9-nov-87	14-abr-88	1.6
1154	2+848	15-nov-87 30-jun-89	12-nov-87	12-abr-88	2.4
1179	2+873	15-nov-87 30-jun-89	14-nov-87	9-abr-88	1.8

### 2.3.4.3 Estación EP-L3

Localización: Km 2+900

Fecha de Instalación: 1-Abr-88

Ultima Medición: 30-Jun-89

Anillo	Caden. (km)	Periodo de Observación	Revestim. Primario	Revestim. Secundar.	Despl. (cms)
1	2+902	1-feb-88 31-ago-88	18-ene-88	9-ene-89	0.5
10	2+910	18-feb-88 31-ago-88	15-feb-88	8-ene-89	1.5
12	2+917	18-feb-88 31-ago-88	18-feb-88	7-ene-89	2.1
25	2+925	21-feb-88 15-nov-88	21-feb-88	6-ene-89	2.1
39	2+938	25-feb-88 15-nov-88	23-feb-88	4-ene-89	2.7
42	2+942	26-feb-88 15-nov-88	24-feb-88	3-ene-89	2.3
53	2+952	28-feb-88 15-nov-88	28-feb-88	29-dic-88	2.4

### 2.3.4.4 Estación EP-3

Localización: Km 3+220

Fecha de Instalación: 6-Abr-88

Ultima Medición: 30-Jun-89

Anillo	Caden. (km)	Periodo de Observación	Revestim. Primario	Revestim. Secundar.	Despl. (cms)
254	3+152	24-mar-88 30-jun-89	22-mar-88	11-dic-88	0.6
282	3+180	27-mar-88 30-jun-89	24-mar-88	10-dic-88	0.7

Anillo	Caden. (km)	Periodo de Observación	Revestim. Primario	Revestim. Secundar.	Despl. (cms)
302	3+200	29-mar-88 30-jun-89	27-mar-88	9-dic-88	0.4
326	3+224	31-mar-88 30-jun-89	29-mar-88	7-dic-88	1.1
354	3+252	5-abr-88 30-jun-89	5-abr-88	6-dic-88	0.5
383	3+300	7-abr-88 30-jun-89	7-abr-88	5-dic-88	0.8
403	3+300	9-abr-88 30-jun-89	9-abr-88	4-dic-88	0.0

#### 2.3.4.5 Estación EP-4

Localización: Km 3+740

Fecha de Instalación: 15-Sep-87

Ultima Medición: 31-Dic-89

Anillo	Caden. (km)	Periodo de Observación	Revestim. Primario	Revestim. Secundar.	Despl. (cms)
754	3+648	9-mar-88 30-jun-89	9-mar-88	3-nov-88	0.1
786	3+680	12-mar-88 30-jun-89	12-mar-88	29-oct-88	0.7
804	3+697	15-mar-88 30-jun-89	13-mar-88	28-oct-88	0.2
831	3+724	18-mar-88 30-jun-89	15-mar-88	27-oct-88	-0.4

#### 2.3.4.6 Comentarios

El movimiento de las secciones está relacionado con las fuerzas de filtración, ocasionadas por la permeabilidad del revestimiento primario.

Además, se observa que el desplazamiento inicial estuvo sometido a la influencia de ciertos factores de tipo constructivo, como la presión frontal, la presión de inyección y la velocidad de empuje.

De acuerdo con estas consideraciones, el comportamiento registrado por la instrumentación de las secciones de convergencia, se resume así:

- a) Con excepción de los anillos 25 y 53, correspondientes a la estación EP-L3; 354, 383 y 403 de EP-3; y 754 de EP-4; la información muestra que el equipo de medición se instaló, en promedio, 2 días después de colocar el revestimiento primario.
- b) Los anillos 427, 455, 484 y 524, de la estación EP-1, al inicio registraron fuertes desplazamientos. La velocidad de deformación disminuyó a partir de septiembre; en este lapso, la presión hidráulica se reduce, y en diciembre tiende a estabilizarse, fig. 27.

Su comportamiento también estuvo sujeto a la influencia de los cambios experimentados por la presión frontal y de inyección, así como a la velocidad de empuje, descritos en la tabla 3.

- c) Los piezómetros de la estación EP-2 presentaron, alternadamente, incrementos y decrementos de presión hidráulica. Observando que al inicio la presión aumenta, y en el mes de marzo tiende a disminuir. Esta información es presentada en la gráfica de la fig. 27.

De acuerdo a los registros piezométricos, entre enero y febrero, la presión sufre un abatimiento de  $1.7 \text{ t/m}^2$ , su efecto sobre las secciones es reflejado por la reducción de los desplazamientos. Esta aparente contradicción solo se justifica a través de uno de los mecanismos inicialmente considerados, tomando en cuenta que la permeabilidad de los limos encontrados sobre la clave del túnel, pueden permitir la recuperación de los niveles, e incrementar la magnitud de las presiones hidráulicas.

La influencia del procedimiento constructivo es bastante notable en los anillos 1085 y 1104. La presión frontal presenta un cambio de 1.75 a 1.94 kg/cm<sup>2</sup>, y de 1.75 a 1.62 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente; de forma semejante, la presión de inyección aumenta de 1.88 a 2.0 kg/cm<sup>2</sup>, y de 1.0 a 1.53 kg/cm<sup>2</sup>.

Resulta importante observar que a raíz de la construcción del revestimiento secundario se reduce la velocidad de deformación.

- d) En la estación EP-L3, los piezómetros fueron instalados posteriormente a la instrumentación de las secciones. De marzo a abril de 1988, la presión aumenta y se refleja en el comportamiento del revestimiento primario, frenando la evolución de los desplazamientos.

Un ejemplo de la influencia del proceso de excavación se verifica en el anillo 25: la presión de inyección varía de 2.0 a 1.2 kg/cm<sup>2</sup>; la presión frontal disminuye 0.1 kg/cm<sup>2</sup>; y la velocidad de empuje aumenta de 4.6 a 5.0 cm/min.

- e) La irregularidad del comportamiento de la estación EP-3 se manifiesta en las secciones de convergencia, mediante leves movimientos que tienden a estabilizarse después de construir el revestimiento secundario.

Los desplazamientos iniciales están asociados a los factores constructivos, de manera importante a las presiones de inyección, según se hace referencia en el tabla 3.

- f) En la estación EP-4, la disminución de los niveles piezométricos se presenta en forma gradual, con un ligero incremento durante los primeros meses.

Cuando son instaladas e instrumentadas las secciones de convergencia, el abatimiento de presión es mínimo, esto también es reflejado en las gráficas de la fig. 26.

Sin embargo, el desplazamiento inicial está afectado por el proceso de excavación. Por ejemplo: en la dovela 754 la presión de inyección se reduce de 2.06 a 1.93 kg/cm<sup>2</sup>.

- g) Prácticamente las secciones se han estabilizado, con excepción de aquellas que forman parte de la estación EP-L3.

El desplazamiento máximo, registrado en la sección 427, de la estación EP-1, alcanzó una magnitud de 5.0 cm, esto representa una deformación unitaria de 0.0089. Tomando en cuenta las observaciones expuestas por Peck, resulta ser superior al valor admisible y seguramente el concreto del revestimiento se ha agrietado, propiciando la filtración de agua al interior del túnel. Por otra parte, es importante recordar que las características de los agregados utilizados en la ciudad de México, hacen al concreto más dúctil.

## 2.4 COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA.

### TRAMO ENTRE LUMBRERAS 1 Y 2

#### 2.4.1 DATOS GENERALES.

LOCALIZACION: Marcelino Buendía

entre Río Churubusco y Javier Rojo Gómez

PROFUNDIDAD MEDIA: 13.0 m

DIAMETRO EXTERIOR: 3.85 m

DIAMETRO INTERIOR: 3.50 m

LONGITUD: 1448 m

PERIODO DE CONSTRUCCION: Julio de 1984 a Agosto de 1985

METODO CONSTRUCTIVO: El túnel se construyó empleando un escudo de frente cerrado, presurizado con lodo bentonítico, de 4.0 m de diámetro.



Como revestimiento primario fueron instalados anillos de concreto reforzado de 17.5 cm de espesor; inyectando, a presión, mezclas de mortero-cemento-lodo bentonítico, para rellenar el espacio anular dejado por el faldón. Además, se coló una capa de concreto lanzado de 15 cm de espesor, formando así el revestimiento definitivo.

#### 2.4.2 ESTRATIGRAFIA.

En la zona del lago, a una profundidad media de 13 m, la masa de suelo en donde el túnel fue construido, está constituida, principalmente, por suelos arcillosos de alta compresibilidad, intercalados con estratos de arena limosa. El nivel freático se localizó a 3.3 m de profundidad.

#### 2.4.3 PIEZOMETRIA.

Al realizar la excavación del túnel fueron instaladas 13 secciones de -piezometría, agrupadas en las estaciones E-1, E-2 y E-3, y poder investigar el comportamiento hidrodinámico durante la etapa de construcción.

A ésta información se suma la del pozo de observación 202, registrada por la Comisión Nacional del Agua, que permite tener un marco de referencia para comparar las mediciones efectuadas en las estaciones.

El análisis de resultados es presentado en los incisos subsecuentes haciendo alusión a la magnitud de las presiones hidráulicas, experimentadas al nivel de la clave. Cada sección es compuesta por 2 piezómetros.

##### 2.4.3.1 Estación E-1

*Localización: Km 0+075*

*Fecha de Instalación: Julio de 1984*

*Ultima Medición: Septiembre de 1985*

La estación estuvo integrada por 3 secciones piezométricas, e instrumentos instalados a 9.40 y 15.0 m de profundidad. La primera se formó con piezómetros abiertos; en las secciones 2 y 3 se usaron piezómetros de tipo neumático.

El comportamiento de la estación resultó ser heterogéneo. La explicación más congruente parece estar ligada a la diferente sensibilidad del equipo utilizado en cada sección.

La sección 1 registró una reducción de presión de velocidad constante, alcanzando una magnitud de  $0.8 \text{ t/m}^2$ , en el curso de un año, según puede apreciarse en la fig. 28. Al inicio, también las secciones 2 y 3 experimentaron ligeros abatimientos del orden de  $0.25$  y  $0.35 \text{ t/m}^2$ , respectivamente.

En fechas posteriores, la sección 2 manifestó un aumento de  $1.45 \text{ t/m}^2$ . El resultado fue un incremento de  $1.2 \text{ t/m}^2$ , fig.29.

De agosto de 1984 a junio de 1985, la sección 3 sufrió un incremento de  $1.75 \text{ t/m}^2$ ; hacia el término del periodo de medición, la presión se redujo  $1.5 \text{ t/m}^2$ . El abatimiento total medido fue de  $0.25 \text{ t/m}^2$ , fig. 30.

#### 2.4.3.2 Estación E-2

*Localización: Km 0+546*

*Fecha de Instalación: Agosto de 1984*

*Ultima Medición: Septiembre de 1985*

Las secciones se formaron con 2 piezómetros situados a 10.15 y 15.0 m de profundidad. En la sección 1 se usaron piezómetros abiertos; en las 4 restantes, fueron instalados piezómetros neumáticos.

Las mediciones indican un comportamiento hidráulico muy irregular de la zona, observando que abatimientos e incrementos de presión se dan de manera alternada, en resumen:

Sección 1. Entre agosto y septiembre de 1984, registra un aumento de  $0.10 \text{ t/m}^2$ ; al continuar las observaciones se suscita una caída de  $1.7 \text{ t/m}^2$ ; y hacia el final, exhibe una recuperación de  $1.8 \text{ t/m}^2$ . La gráfica de la fig. 31, indica un incremento total de  $0.2 \text{ t/m}^2$ .

Sección 2. La presión sufrió incrementos de  $1.1$  y  $1.0 \text{ t/m}^2$ , en agosto y noviembre de 1984. En tanto, abatimientos de  $0.6$  y  $0.5 \text{ t/m}^2$ , fueron registrados durante septiembre de 1984 y junio de 1985, como se aprecia en la gráfica de la fig. 32. El incremento total fue de  $1.6 \text{ t/m}^2$ .

Sección 3. De agosto a septiembre de 1984, se generó un incremento de  $1.8 \text{ t/m}^2$ ; y de noviembre de ese mismo año a septiembre de 1985, también se presentó un aumento de  $1.4 \text{ t/m}^2$ . De septiembre a noviembre de 1984, la presión decreció  $1.7 \text{ t/m}^2$ . La fig. 33 muestra gráficamente estas variaciones, observando finalmente un incremento total de  $1.5 \text{ t/m}^2$ .

Sección 4. Registró incrementos de  $1.4$ ,  $0.6$  y  $0.3 \text{ t/m}^2$ , en agosto y diciembre de 1984; y junio de 1985, respectivamente. Una reducción de  $1.2 \text{ t/m}^2$ , se verificó en el mes de septiembre de 1984. Resultando un incremento de  $0.8 \text{ t/m}^2$ , fig. 34.

Sección 5. Inicialmente exhibió un aumento de  $0.6 \text{ t/m}^2$ , durante agosto de 1984; en septiembre, disminuyó la misma magnitud; posteriormente, se incrementó  $0.9 \text{ t/m}^2$ , y al final, sufrió una reducción de  $0.3 \text{ t/m}^2$ . La fig. 35 muestra un incremento total de  $0.6 \text{ t/m}^2$ .

#### 2.4.3.3 Estación E-3

*Localización:* Km 1+000

*Fecha de Instalación:* Octubre de 1984

*Ultima Medición:* Septiembre de 1985

Los piezómetros de las 5 secciones fueron instalados a  $10.75$  y  $15.0 \text{ m}$ , de profundidad, figs. 36 a 40. La primera sección se instrumentó con piezómetros abiertos, en el resto se emplearon piezómetros neumáticos.

La sección 1 registró una caída de  $0.1 \text{ t/m}^2$ ; las secciones 2, 3, 4 y 5 mostraron incrementos de 1.1, 1.8, 1.2 y  $0.6 \text{ t/m}^2$ , respectivamente.

El comportamiento en la primera pudo ser debido a la diferente sensibilidad del equipo utilizado.

#### 2.4.3.4 Pozo 202

*Localización: Calle Sur 161, a 1200 m de la lumbrera no. 1*

*Periodo Observado: Junio de 1970 a Junio de 1989*

En puntos situados por arriba de los primeros 16 m, existe la tendencia a recuperar los niveles piezométricos; a mayor profundidad el fenómeno se manifestó en forma de abatimientos.

Para los fines de este trabajo, de 1980 a 1989, el pozo registró un incremento de  $0.4 \text{ t/m}^2$ , como lo presenta la fig. 41.

#### 2.4.3.5 Comentarios

Los periodos de medición fueron relativamente cortos, limitando la información. Sin embargo, la recuperación de los niveles piezométricos puede incrementar el gradiente hidráulico y generar fuerzas de filtración, modificando así el estado de esfuerzos e induciendo deformaciones a los sistemas de soporte, si la impermeabilidad de los revestimientos es deficiente.

#### 2.4.4 SECCIONES DE CONVERGENCIA.

Analizando 16 secciones de convergencia, cercanas a las estaciones E-1 y E-2, es posible determinar la reducción de los esfuerzos totales horizontales, provocado por el flujo de agua hacia el túnel.

Su comportamiento es descrito a través de las gráficas de las figuras - 42 y 43, respectivamente. Para la estación E-3 no se implementaron secciones de convergencia.

#### 2.4.4.1 Estación E-1

*Localización: Km 0+075*

*Fecha de Instalación: Julio de 1984*

*Ultima Medición: Septiembre de 1985*

<i>Anillo</i>	<i>Caden. (km)</i>	<i>Periodo de Observación</i>	<i>Revestim. Primario</i>	<i>Revestim. Secundar.</i>	<i>Despl. (cms)</i>
14	0+018	3-jul-84 3-may-85	1-jul-84	24-mar-85	0.5
39	0+043	12-jul-84 21-may-85	12-jul-84	23-mar-85	0.8
52	0+056	18-jul-84 18-may-85	18-jul-84	22-mar-85	1.5
72	0+076	23-jul-84 30-abr-85	23-jul-84	22-mar-85	0.7
89	0+093	24-jul-84 30-abr-85	24-jul-84	20-mar-85	1.2
99	0+103	29-jul-84 30-abr-85	27-jul-84	20-mar-85	0.2
136	0+139	3-ago-84 6-may-85	3-ago-84	19-mar-85	0.5
160	0+163	10-ago-84 6-may-85	6-ago-84	18-mar-85	0.6
190	0+193	9-ago-84 6-may-85	9-ago-84	17-mar-85	0.3
212	0+214	9-ago-84 24-abr-85	9-ago-84	16-mar-85	0.3

#### 2.4.4.2 Estación E-2

Localización: Km 0+546

Fecha de Instalación: Agosto de 1984

Ultima Medición: Septiembre de 1985

Anillo	Caden. (km)	Periodo de Observación	Revestim. Primario	Revestim. Secundar.	Despl. (cms)
419	0+421	27-ago-84 22-abr-85	27-ago-84	9-may-85	0.5
442	0+444	1-sep-84 21-abr-85	1-sep-84	9-may-85	0.3
463	0+465	3-sep-84 21-abr-85	3-sep-84	8-may-85	0.6
488	0+490	5-sep-84 27-feb-85	5-sep-84	8-may-85	0.7
515	0+517	6-sep-84 21-abr-85	6-sep-87	7-may-85	0.5
537	0+537	9-sep-84 21-abr-85	9-sep-84	6-may-85	0.3

#### 2.4.4.3 Comentarios

Aún cuando se visualizan ligeros movimientos, resultado de la variación de la presión hidráulica, fig. 44, el comportamiento mecánico registrado por las secciones de convergencia, muestran tendencia hacia la estabilización.

La magnitud de los desplazamientos es relativamente pequeña, sin dejar de observar que la máxima fue de 1.5 cm, registrada en la dovela 52, esta representa una deformación unitaria de 0.0038, respecto al diámetro interior del túnel; siendo superior a la admisible, considerando los aspectos citados en la ref. 26.

## 2.5 COLECTOR SEMIPROFUNDO CANAL NACIONAL-CHALCO.

### TRAMO ENTRE LAS LUMBRERAS 1 Y 2

#### 2.5.1 DATOS GENERALES.

LOCALIZACION: Cerro Capilla de San Miguel y Canal Nacional  
entre Río Churubusco y Comerciantes

PROFUNDIDAD MEDIA: 13.0 m

DIAMETRO EXTERIOR: 3.85 m

DIAMETRO INTERIOR: 3.50 m

LONGITUD: 1940 m

PERIODO DE CONTRUCCION: Enero de 1988 a Marzo de 1990

METODO CONSTRUCTIVO: La construcción de este colector se lleva a cabo - mediante el empleo de un escudo de frente cerrado, presurizado con lodo bentonítico, de 4.0 m de diámetro. El revestimiento primario se construyó a base de dovelas de concreto reforzado, logrando el contacto sug lo-revestimiento, mediante inyecciones a presión de mezclas de mortero-cemento-lodo bentonítico. El revestimiento secundario se formó con una capa de concreto lanzado, armado.

#### 2.5.2 ESTRATIGRAFIA.

El túnel está ubicado a 13 m de profundidad y se localiza en la frontera de la zona del lago y la zona de transición.

Su perfil estratigráfico comprende básicamente suelos arcillosos de alta compresibilidad. Su contenido natural de agua es del orden de 300%, con intercalaciones de lentes de arena fina, vidrio volcánico y limos. El nivel freático se localizó a 3.6 m de profundidad.

### 2.5.3 PIEZOMETRIA.

En esta obra no se instalaron piezómetros, únicamente existe como referencia la información recabada en el pozo de observación 303, aledaño al túnel.

El pozo esta localizado entre las calles Río Churubusco y la Calzada de Tlalpan, a 1350 m de la lumbrera no. 1. Los datos corresponden al periodo comprendido entre junio de 1970 y mayo de 1989.

Su comportamiento ha sido muy irregular, para un mismo año y a diferentes profundidades las presiones se incrementan y en otros puntos sucede lo contrario; un corte estratigráfico de la zona señala la presencia de estratos más permeables que las arcillas, esto puede ser la causa del fenómeno registrado, fig. 45.

En la fig. 46 se han dibujado las presiones medidas entre los meses de noviembre de 1987 a mayo de 1989 que, prácticamente, han permanecido estáticas. Sólo en los primeros 13 m de profundidad se tuvieron ligeros abatimientos. Para los propósitos de este escrito, se registró una reducción de  $0.1 \text{ t/m}^2$ , al nivel de la clave.

A pesar de los escasos datos piezométricos existe evidencia, en los informes de supervisión, de fuertes filtraciones de agua al interior del túnel, provocando con ello su deterioro, como puede constatarse con el comportamiento verificado a través de la instrumentación de las secciones de convergencia.

### 2.5.4 SECCIONES DE CONVERGENCIA.

En la fig. 47 se presentan los resultados de los desplazamientos de 24 secciones instrumentadas, para analizar las deformaciones inducidas en la masa de suelo, debidas al efecto de las fuerzas de filtración y al proceso constructivo.



<i>Cadenamiento (km)</i>	<i>Periodo de Observación</i>	<i>Revestimiento Primario</i>	<i>Desplazamiento (cms)</i>
0+020	Enero 1988 Octubre 1989	13-ene-88	7.75
0+040	Enero 1988 Octubre 1989	1-feb-88	3.80
0+060	Enero 1988 Octubre 1989	4-feb-88	7.85
0+080	Febrero 1988 Octubre 1989	11-feb-88	9.25
0+100	Febrero 1988 Octubre 1989	13-feb-88	7.40
0+120	Febrero 1988 Octubre 1989	20 feb-88	7.90
0+140	Febrero 1988 Octubre 1989	23-feb-88	5.75
0+160	Febrero 1988 Octubre 1989	26-feb-88	6.00
0+180	Febrero 1988 Octubre 1989	1-mar-88	6.90
0+200	Marzo 1988 Octubre 1989	3-mar-88	6.20
0+220	Marzo 1988 Octubre 1989	8-mar-88	8.45
0+240	Marzo 1988 Octubre 1989	11-mar-88	7.35
0+260	Marzo 1988 Octubre 1989	14-mar-88	7.75
0+280	Marzo 1988 Octubre 1989	16-mar-88	7.70
0+300	Marzo 1988 Octubre 1989	18-mar-88	7.30
0+320	Marzo 1988 Octubre 1989	19-mar-88	7.60

Cadenamiento (km)	Periodo de Observación	Revestimiento Primario	Desplazamiento (cms)
0+340	Marzo 1988 Octubre 1989	22-mar-88	7.60
0+360	Marzo 1988 Octubre 1989	23-mar-88	7.40
0+380	Abril 1988 Octubre 1989	26-mar-88	7.30
0+400	Abril 1988 Octubre 1989	29-mar-88	7.70
0+420	Abril 1988 Octubre 1989	5-abr-88	7.85
0+440	Abril 1988 Octubre 1989	7-abr-88	8.70
0+460	Abril 1988 Octubre 1989	11-abr-88	10.55
0+480	Abril 1988 Octubre 1989	13-abr-88	11.40

### 2.5.5 Comentarios

La instrumentación de las secciones de convergencia comenzó a partir de agosto de 1989. Anteriormente no se realizó ningún registro, por ello fue necesario determinar, previamente, los desplazamientos horizontal y vertical considerando, hipotéticamente, un diámetro inicial de 3.5 m.

De los datos así obtenidos, los desplazamientos varían entre 3.8 y 11.4 cm; magnitudes que representan un verdadero peligro para la estabilidad del túnel.

Su comportamiento mecánico parece estar asociado a las condiciones estratigráficas. Un perfil situa al túnel entre dos estratos de alta permeabilidad: en la parte superior se localiza una arena limosa y en la inferior un limo arenoso.

Bajo tales condiciones, debe esperarse que el aporte de agua hacia el - túnel propicie un gasto de magnitud considerable, ocasionando el desarrollo de fuerzas de filtración y el deterioro de las estructuras de so porte.

El problema se agudizó aún más debido a que el frente de excavación estuvo paralizado durante 10 meses, favoreciendo la influencia destructiva del flujo de agua. Cabe mencionar que ésto produjo la reevaluación del diseño del revestimiento secundario, dando como resultado secciones estructurales de diferentes espesores.

### 3. ASPECTOS TEORICOS.

#### 3.1 GENERALIDADES.

La ponderación de los problemas derivados del flujo de agua a través de los suelos es muy limitada en el diseño de túneles, sin embargo, las observaciones de campo demuestran la necesidad de su evaluación.

La excavación de túneles bajo el nivel freático requiere técnicas constructivas que impidan el flujo de agua a su interior. En túneles construidos en la ciudad de México, es práctica común utilizar dovelas de concreto con juntas de construcción, y el empleo de aire o lodo a presión para contrarrestar la presión del agua en el frente de excavación.

A pesar de ello, resulta difícil asegurar la impermeabilidad del revestimiento primario, por lo que puede actuar como dren, y propiciar la generación de fuerzas de filtración que modifican el estado de esfuerzos de la masa de suelo en torno al túnel, provocando deformaciones del revestimiento.

En este capítulo se determina la magnitud de los movimientos inducidos por las fuerzas de filtración, mediante un procedimiento analítico propuesto por el Ing. J. Alberro, (ref 1), y se compara con las mediciones experimentales. Además, se presenta el cálculo de los incrementos que sufren los elementos mecánicos, sometidos al efecto del agua.

Los resultados analizados corresponden a los túneles: Interceptor Central, Interceptor Centro-Centro y Colector Semiprofundo Iztapalapa.

Las características estratigráficas del sitio en donde se ubica el túnel Canal Nacional-Chalco, no hacen posible emplear el proceso analítico por las hipótesis consideradas, sin embargo es importante visualizar la magnitud de los desplazamientos registrados y su implicación en el desarrollo de futuras investigaciones.

### 3.2 MODELO ANALITICO.

Se fundamenta en la metodología de la Mecánica del Medio Continuo, abordando el problema en forma bidimensional. El procedimiento consiste en analizar la red de flujo transitorio, afectada por la consolidación de la arcilla localizada alrededor del túnel; se determinan el estado de esfuerzos y las deformaciones inducidas por el flujo; y, finalmente, se comparan los resultados teóricos con las mediciones de campo.

#### 3.2.1 ANALISIS DE LA RED DE FLUJO.

Se supone la excavación de un túnel en un medio homogéneo e isótropo, localizando el nivel freático a la profundidad  $h'$ , según se indica en figura 48. Además, se emplea durante la construcción aire comprimido con una presión que reduce la filtración de agua en el túnel.

Al suprimir o reducir la presión del aire, instantáneamente comienza el fenómeno de consolidación, ocasionado por la filtración del agua proveniente de fuentes externas, o aquella acumulada en torno al revestimiento.

De la teoría matemática del flujo de agua en el subsuelo, expuesta en la ref. 27, se introduce un potencial complejo

$$\Psi = A \ln \frac{Z - ih}{Z + ih} + H = \psi' + i\psi'' \quad (1)$$

donde

A : es un parámetro que depende de las características estratigráficas del medio y del procedimiento constructivo

Z : es un numero complejo, igual a

$$Z = x + iy \quad (2)$$

$\psi'$  : representa la variación del potencial hidráulico

$$\omega = \frac{P}{\gamma \omega} + \psi \quad (3)$$

$\psi''$  : es la función que representa al conjunto de las líneas de flujo.

De las ecuaciones (1) y (2), las funciones  $\psi'$  y  $\psi''$  se pueden expresar

$$\psi' = A \ln \left| \frac{Z - ih}{Z + ih} \right| = \frac{A}{2} \ln \frac{x^2 + (\psi - h)^2}{x^2 + (\psi + h)^2} \quad (4)$$

y

$$\psi'' = A (\alpha_1 - \alpha_2) \quad (5)$$

donde

$\alpha_1$  y  $\alpha_2$  : son los ángulos de MA y MB con la horizontal, fig. 49

Observando la figura 48, H representa el lugar geométrico a partir del cual comienza a manifestarse el flujo transitorio. Su posición cambia con el tiempo al incrementarse la zona, h, afectada por la variación del potencial hidráulico.

De acuerdo con la teoría de las isócronas, ref. 30, h se puede determinar con la expresión:

$$h = a + \sqrt{\beta C \frac{t}{v}} \quad (6)$$

Donde

$h$  : distancia vertical entre la frontera del flujo transitorio y el eje del túnel, en m

$a$  : radio del túnel, en m

$\beta$  : constante, igual a 6 ó 12 según las referencias 21 ó 30

$C_v$  : coeficiente de consolidación de la arcilla, en  $m^2/\text{día}$

$t$  : tiempo transcurrido, en días

Por lo tanto, la solución de la red de flujo debe satisfacer las condiciones de frontera

$$\psi' = H \quad \text{para } \psi = 0$$

$$\psi' = \frac{P_{\text{aire}}}{\gamma_w} - h \quad \text{para } \psi = -h \quad \text{y} \quad \alpha = \pm a$$

de donde

$$\frac{P_{\text{aire}}}{\gamma_w} - h = \frac{A}{2} \ln \frac{a^2 + 4h^2}{a^2} + H \quad (7)$$

Despejando de la ecuación (7) el valor de A, se obtiene

$$\psi' = \frac{P_{\text{aire}}/\gamma_w - (h + H)}{\ln \frac{a^2}{a^2 + 4h^2}} \ln \frac{\alpha^2 + (\psi - h)^2}{\alpha^2 + (\psi + h)^2} + H \quad (8)$$

y

$$\psi'' = \frac{2 \left( P_{\text{aire}}/\gamma_w - (h + H) \right)}{\ln \frac{a^2}{a^2 + 4h^2}} (\alpha_1 - \alpha_2) \quad (9)$$

Las expresiones (8) y (9), representan valores constantes a lo largo de las curvas equipotenciales y las líneas de flujo, respectivamente, formando dos familias de círculos ortogonales entre sí.

### 3.2.2 ESTADO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES.

La correlación de la solución analítica de la red de flujo con el estado de esfuerzos, y las deformaciones inducidas en la masa de suelo, se determina a partir de las condiciones impuestas por la teoría de la mecánica del medio continuo.

El medio se considera linealmente elástico, sometido a un estado de deformación plana.

Para establecer las condiciones de equilibrio se debe observar que las fuerzas de filtración derivan de un potencial  $\psi'$

$$\vec{F} = -\gamma_{\omega} \text{grad } \psi' \quad (10)$$

por lo cual, las ecuaciones de Navier pueden escribirse como

$$\left. \begin{aligned} (\lambda + G) \frac{\partial(\text{div } \vec{\rho})}{\partial x} + G \nabla^2 u - \gamma_{\omega} \frac{\partial \psi'}{\partial x} &= 0 \\ (\lambda + G) \frac{\partial(\text{div } \vec{\rho})}{\partial y} + G \nabla^2 v - \gamma_{\omega} \frac{\partial \psi'}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \right\} (11)$$

donde

$\lambda$  y  $G$  : constantes de Lamé del suelo

$\vec{\rho}$  : vector desplazamiento

$u, v$  : componentes del vector desplazamiento  $\vec{\rho}$

$x, y$  : el sistema coordenado de referencia



Puesto que  $\vec{\rho}$  deriva de un potencial de deformaciones, se supone

$$\vec{\rho} = \frac{1}{2G} \text{grad } \varphi \quad (12)$$

y haciendo uso del análisis vectorial, las ec. (11) se transforman en

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \frac{\lambda + G}{2G} \right) \nabla^2 \varphi + \frac{1}{2} \nabla^2 \varphi - \gamma_{\omega} \psi' \right] &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \frac{\lambda + G}{2G} \right) \nabla^2 \varphi + \frac{1}{2} \nabla^2 \varphi - \gamma_{\omega} \psi' \right] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

su integración implica satisfacer la expresión

$$\nabla^2 \varphi = \frac{2G}{\lambda + 2G} \gamma_{\omega} \psi' + \text{cte} \quad (14)$$

De esta forma, el problema quedará resuelto al encontrar una función  $\varphi$ . Usando la expresión (8) se verifica la expresión

$$\nabla^2 \varphi = B'_d \ln \frac{x^2 + (y + h)^2}{x^2 + (y - h)^2} + \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} H \gamma_{\omega} + \text{cte} \quad (15)$$

donde

$$B'_d = \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} \gamma_{\omega} \frac{P_{\text{aire}} / \gamma_{\omega} - (h + H)}{\ln \frac{a^2}{a^2 + 4h^2}} \quad (16)$$

El modelo analítico propone la siguiente función  $\varphi$ , que satisface a la ecuación (15), además de cumplir con las condiciones de frontera

$$\begin{aligned} \varphi = & \frac{B}{4} \left[ x^2 + (y + h)^2 \right] \left[ \ln (x^2 + (y + h)^2 - 2) \right] - \\ & - \frac{B}{4} \left[ x^2 + (y - h)^2 \right] \left[ \ln (x^2 + (y - h)^2 - 2) \right] - \\ & - Bh \int \left[ \operatorname{Arctg} \frac{y + h}{x} + \frac{y - h}{x} \right] dx \end{aligned} \quad (17)$$

Los esfuerzos efectivos generados por las fuerzas de filtración, se determinan partiendo de la definición del vector desplazamiento  $\vec{\rho}$ , y de las relaciones esfuerzo-deformación

$$\left. \begin{aligned} \bar{\sigma}_x &= 2G \varepsilon_x + \lambda \theta \\ \bar{\sigma}_y &= 2G \varepsilon_y + \lambda \theta \\ \tau_{xy} &= 2G \gamma_{xy} \end{aligned} \right\} (18)$$

donde la deformación volumétrica es

$$\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y \quad (19)$$

Siendo

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{1}{2G} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \\ v &= \frac{1}{2G} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \end{aligned} \right\} (20)$$

Entonces

$$\begin{aligned}
 \epsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{2G} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \\
 \epsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{2G} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \\
 \gamma_{xy} &= \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right] = \frac{1}{2G} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{aligned}} \right\} (21)$$

Sustituyendo en la primera ec. (18)

$$\begin{aligned}
 \bar{\sigma}_x &= 2G \epsilon_x + \lambda (\epsilon_x + \epsilon_y) \\
 &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\lambda}{2G} \left[ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right] \\
 &= \frac{\lambda}{2G} \left[ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right] + \left[ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right] - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \\
 &= \frac{\lambda + 2G}{2G} \nabla^2 \varphi - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}
 \end{aligned}$$

Finalmente de la ec. (14), y con un razonamiento similar para  $\bar{\sigma}_y$  y  $\tau_{xy}$

$$\begin{aligned}
 \bar{\sigma}_x &= - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \psi' \gamma_{xy} \\
 \bar{\sigma}_y &= - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \psi' \gamma_{xy} \\
 \tau_{xy} &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \bar{\sigma}_x \\ \bar{\sigma}_y \\ \tau_{xy} \end{aligned}} \right\} (22)$$

Tomando en cuenta la función  $\varphi$ , y resolviendo las ecuaciones diferenciales, (22)

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x^- &= \frac{B'_d}{2} \left[ \ln \frac{x^2 + (\varphi - h)^2}{x^2 + (\varphi + h)^2} + 2\varphi \left\{ \frac{\varphi - h}{x^2 + (\varphi - h)^2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{\varphi + h}{x^2 + (\varphi + h)^2} \right\} \right] \\ \sigma_y^- &= \frac{B'_d}{2} \left[ \ln \frac{x^2 + (\varphi - h)^2}{x^2 + (\varphi + h)^2} + 2 \left\{ \frac{x^2 - h(\varphi - h)}{x^2 + (\varphi - h)^2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \frac{x^2 + h(\varphi + h)}{x^2 + (\varphi + h)^2} \right\} \right] \\ \tau_{xy} &= -B'_d \alpha \varphi \left[ \frac{1}{x^2 + (\varphi - h)^2} - \frac{1}{x^2 + (\varphi + h)^2} \right] \end{aligned} \right\} (23)$$

Los esfuerzos así calculados corresponden a un sistema de coordenadas con origen a la profundidad  $H$ , fig. 48. Sin embargo existe una zona de variación del potencial hidráulico,  $h$ , que cambia con el tiempo, por lo cual se requiere utilizar un sistema de referencia que permanezca fijo. Se elige entonces, el nuevo sistema con origen en el centro del túnel y coordenadas

$$\begin{aligned} \varphi &= Y - h \\ \alpha &= X \end{aligned} \quad (24)$$

Con las nuevas coordenadas, los esfuerzos son

$$\left. \begin{aligned}
 \sigma_x &= \frac{B'_d}{2} \left[ \ln \frac{X^2 + (Y - 2h)^2}{X^2 + Y^2} + 2(Y - h) \left\{ \frac{Y - 2h}{X^2 + (Y - 2h)^2} - \frac{Y}{X^2 + Y^2} \right\} \right] \\
 \sigma_y &= \frac{B'_d}{2} \left[ \ln \frac{X^2 + (Y - h)^2}{X^2 + Y^2} + 2 \left\{ \frac{X^2 + h(Y - 2h)}{X^2 + (Y - 2h)^2} - \frac{X^2 + hY}{X^2 + Y^2} \right\} \right] \\
 \tau_{xy} &= -B'_d XY \left[ \frac{1}{X^2 + (Y - 2h)^2} - \frac{1}{X^2 + Y^2} \right]
 \end{aligned} \right\} (25)$$

Por las características geométricas del problema y para un manejo más adecuado de los resultados, las ecuaciones (25) se transforman a un sistema de coordenadas polares mediante las expresiones

$$\left. \begin{aligned}
 \sigma_r &= \bar{\sigma}_x \cos^2 \theta + \bar{\sigma}_y \sin^2 \theta + 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta \\
 \tau_{r\theta} &= (\bar{\sigma}_x - \bar{\sigma}_y) \sin \theta \cos \theta + \tau_{xy} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)
 \end{aligned} \right\} (26)$$

### 3.2.3 DETERMINACION DE LOS ELEMENTOS MECANICOS.

La modificación del estado de esfuerzos y deformaciones propicia la alteración de los elementos mecánicos. Para estimar la magnitud de estos cambios se considera la distribución de esfuerzos de la fig. 50.

Por tratarse de una distribución simétrica, se analiza el equilibrio de una sección media, como se muestra en la fig. 51.

Utilizando las ecuaciones básicas de la estática, la resultante de las fuerzas en un arco de ángulo  $\theta$ , para las direcciones  $\alpha$  y  $\psi$ , respectivamente, son

$$\left. \begin{aligned} P &= \int_0^\theta dP = - \int_0^\theta a \left( \sigma_r(\xi) \cos \xi - \tau_{r\theta} \sin \xi \right) d\xi \\ Q &= \int_0^\theta dQ = \int_0^\theta a \left( \sigma_r(\xi) \sin \xi + \tau_{r\theta} \cos \xi \right) d\xi \end{aligned} \right\} (27)$$

donde

$P, Q$  : resultante de las fuerzas en  $\alpha$  e  $\psi$ , respectivamente

$a$  : radio del túnel

$\sigma_r, \tau_{r\theta}$  : esfuerzo normal radial y esfuerzo cortante

De la misma manera, la reacción,  $F$ , en el punto A es

$$F = \int_0^\theta a \left( \sigma_r(\xi) \cos \xi - \tau_{r\theta} \sin \xi \right) d\xi \quad (28)$$

y, los elementos mecánicos en el extremo del arco  $\theta$

$$\left. \begin{aligned} M &= M_A + aN_A(1 - \cos \theta) - aF \sin \theta - \\ &\quad - a \int_0^\theta dQ (\cos \theta - \cos \xi) + dP (\sin \theta - \sin \xi) \\ N &= (N_A + Q) \cos \theta + (F + P) \sin \theta \\ V &= (N_A + Q) \sin \theta - (F + P) \cos \theta \end{aligned} \right\} (29)$$

Donde

M, N y V: momento flexionante, esfuerzos normal y cortante en el extremo del arco  $\theta$

$M_A$  y  $N_A$ : momento flexionante y esfuerzo normal en el punto A

Resolver estas expresiones implica determinar, previamente, el momento flexionante y el esfuerzo normal en el punto A. Para ello, se ha considerado que la rotación en B es nula, despreciando las deformaciones debidas a los esfuerzos normal y cortante, de acuerdo con las fórmulas de Bresse, ref. 28

$$\left. \begin{aligned} \int_0^{\pi} M \, d\theta &= 0 \\ \int_0^{\pi} M \cos \theta \, d\theta &= 0 \end{aligned} \right\} (30)$$

Sustituyendo la expresión para M, en la ec (30) e integrando

$$\pi M_A + a N_A \pi - 2Fa - a \int_0^{\pi} d\theta \int_0^{\theta} dQ (\cos \theta - \cos \xi) - dP (\sin \theta - \sin \xi) = 0$$

$$\begin{aligned} & a N_A \int_0^{\pi} (1 - \cos \theta) \cos \theta \, d\theta - Fa \int_0^{\pi} \sin \theta \cos \theta \, d\theta \\ & - a \int_0^{\pi} \cos \theta \, d\theta \int_0^{\theta} dQ (\cos \theta - \cos \xi) + dP (\sin \theta - \sin \xi) = 0 \end{aligned}$$

Donde la integración de

$$\int_0^{\pi} (1 - \cos \theta) \cos \theta \, d\theta = \left[ \sin \theta - \frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} \right]_0^{\pi} = -\frac{\pi}{2}$$

$$\int_0^{\pi} \sin \theta \cos \theta \, d\theta = \left[ -\frac{\cos 2\theta}{4} \right]_0^{\pi} = -\frac{1}{4} + \frac{1}{4} = 0$$

Por lo tanto, las expresiones de  $M_A$  y  $N_A$ , resultan ser

$$N_A = -\frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \cos \theta \, d\theta \int_0^{\theta} dQ (\cos \theta - \cos \xi) + dP (\sin \theta - \sin \xi) \quad (31)$$

$$M_A = \frac{a}{\pi} \left[ 2F + \left\{ \int_0^{\pi} d\theta \int_0^{\theta} dQ (\cos \theta - \cos \xi) + dP (\sin \theta - \sin \xi) \right\} - \pi N_A \right]$$

Encontrando los valores de  $M_A$  y  $N_A$  se calculan  $M$ ,  $N$  y  $V$ ; y se puede determinar el acortamiento del diámetro  $AB$  con la fórmula

$$\delta = - \int_0^{\pi} \frac{M a^2 \sin \theta}{EI} \, d\theta \quad (32)$$

### 3.3 RESULTADOS.

La determinación del estado de esfuerzos y el cálculo de los elementos mecánicos, se reduce a la aplicación de las expresiones establecidas en los incisos anteriores.

Los esfuerzos se obtienen a partir de los parámetros  $h$  y  $B'_d$ , (tabla 4), mediante las ecuaciones (6) y (16), respectivamente.



En seguida se determinan los esfuerzos efectivos  $\bar{\sigma}_x$ ,  $\bar{\sigma}_y$  y  $\tau_{xy}$  utilizando las fórmulas expresadas por las ecs.(25). Se transforman al sistema de coordenadas polares y se obtienen los esfuerzos  $\sigma_r$  y  $\tau_{r\theta}$ . Los resultados se incluyen en las tablas 5 a 19.

La evaluación del momento flexionante, M; el esfuerzo cortante, V; y el esfuerzo normal N; así como del desplazamiento del diámetro,  $\delta$ ; se realiza integrando numéricamente las expresiones del inciso 3.2.3, debido a que la integración analítica implica determinar los valores de  $\sigma_r$  y  $\tau_{r\theta}$  en función de la variable  $\xi$ .

Los parámetros que se consideran comunes a los casos analizados, fueron seleccionados tomando en cuenta las características estratigráficas del área de la zona del lago y las condiciones de operación del túnel

Relación de Poisson	$\mu = 0.3$
Peso volumétrico del agua	$\gamma_w = 1.0 \text{ t/m}^3$
Coefficiente de consolidación	$C_v = 0.001 \text{ m}^2/\text{día}$
Coefficiente $\beta$	$\beta = 6$

Presión del aire en el interior del túnel	$P_a = 0.0 \text{ t/m}^2$
---	---------------------------

Periodo de análisis	$t = 0, 30, 60, 90, 180, 360, 540 \text{ y } 720 \text{ días}$
---------------------	--

a) INTERCEPTOR CENTRAL.

Datos :

Nivel freático	$h' = 2.73 \text{ m}$
Diámetro del túnel	$\phi = 6.10 \text{ m}$
Profundidad media	$H_m = 23.60 \text{ m}$
Rígidez a la flexión	$EI = 1800 \text{ t-m}^2$

Los resultados se resumen en las tablas 20 a 25, observando que los desplazamientos teóricos y experimentales son

$t$ (días)	$\delta_t$ (cms)	$\delta_e$ (cms)
0	0.00	0.00
30	1.00	0.50
60	1.50	1.00
90	1.90	1.40
180	3.00	2.40
360	4.50	3.30
540	5.80	3.80
720	6.80	-.-

b) INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO.

Datos :

Nivel freático	$h' = 2.00$ m
Diámetro del túnel	$\phi = 6.10$ m
Profundidad media	$H_m = 22.00$ m
Rigidez a la flexión	$EI = 1800 \text{ t-m}^2$

En las tablas 26 a 30, se presentan los cálculos correspondientes a los desplazamientos teóricos y experimentales

$t$ (días)	$\delta_t$ (cms)	$\delta_e$ (cms)
0	0.00	0.00
30	0.09	0.40
60	1.40	0.80

$t$ (días)	$\delta_t$ (cms)	$\delta_e$ (cms)
90	1.80	1.20
180	2.70	2.00
300	3.70	2.50
540	5.30	-.-
720	6.30	-.-

c) COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA.

Datos :

Nivel freático	$h' = 3.73$ m
Diámetro del túnel	$\phi = 3.85$ m
Profundidad media	$H_m = 13.00$ m
Rígidez a la flexión	$EI = 804$ t-m <sup>2</sup>

Las tablas 31 a 35 resumen los cálculos. Los desplazamientos teóricos y experimentales resultaron ser

$t$ (días)	$\delta_t$ (cms)	$\delta_e$ (cms)
0	0.00	0.00
30	0.30	0.10
60	0.50	0.20
90	0.70	0.30
180	1.00	0.50
270	1.30	0.70
540	1.90	-.-
720	2.20	-.-

### 3.4 COMENTARIOS.

En primer lugar debe observarse que la magnitud de los desplazamientos resulta ser menor conforme la profundidad se incrementa. Un efecto semejante se produce al disminuir el diámetro del túnel.

La fig. 52 muestra gráficamente la comparación de los resultados analíticos con los datos obtenidos a través de la instrumentación de campo.

En términos generales los resultados teóricos resultaron ser superiores a los experimentales, sin embargo es imprescindible hacer énfasis en la influencia de las hipótesis de trabajo, y la fidelidad de la información recopilada.

Dentro de las hipótesis consideradas es importante notar que el revestimiento primario no es permeable, en realidad se trata de una estructura semi-impermeable, este hecho debe disminuir el efecto de las fuerzas de filtración y, por consiguiente, la magnitud de los desplazamientos.

La precisión de los datos registrados, se refiere a la incertidumbre generada por ciertos aspectos de tipo humano, desajustes del equipo, detalles constructivos, etc.

#### 4. COMENTARIOS GENERALES Y CONCLUSIONES.

- 4.1 Se debe hacer hincapié en la necesidad de implementar sistemas de medición que permitan evaluar el comportamiento mecánico de los túneles, no sólo durante la etapa de construcción, sino también a lo largo de su vida útil.

Sin duda alguna, la instrumentación de campo es el medio más eficaz para verificar la validez de los procedimientos analíticos existentes.

Con referencia a la información obtenida en los túneles del Interceptor Central, Interceptor Centro-Centro, Colector Semiprofundo - Iztapalapa y Colector Canal Nacional-Chalco, se observan los aspectos que a continuación se mencionan.

*Procedimiento constructivo.* En el tramo del Interceptor Central se utilizó un escudo de frente abierto con aire comprimido, en el resto, los túneles fueron excavados mediante escudos de frente cerrado presurizados con lodo bentonítico.

El revestimiento primario se formó instalando dovelas de concreto con juntas de construcción, además de inyectar mezclas a presión para rellenar el espacio anular dejado por el faldón del escudo. El revestimiento secundario se construyó mediante una capa de concreto lanzado.

*Estratigrafía.* De acuerdo a sus características estratigráficas, quedan comprendidos en el área lacustre del valle de México. Únicamente el colector Canal Nacional-Chalco se encuentra localizado en los límites de la zona del lago y la zona de transición.

*Interceptor Central.* En cada una de las 4 estaciones piezométricas se analizaron 7 secciones de convergencia. También se obtuvo la información correspondiente a 5 pozos de observación, aledaños al túnel.

Los pozos de observación muestran poca influencia del bombeo regional; en tanto, abatimientos locales de presión hidráulica, producto de la permeabilidad del revestimiento primario, se manifestaron claramente en las estaciones. Su efecto se reflejó en graduales movimientos de las secciones de convergencia.

*Interceptor Centro-Centro.* Cercano al sitio se localiza un pozo de observación, cuyos resultados fueron correlacionados con el comportamiento hidráulico de 5 estaciones piezométricas. Además, se analizó la información obtenida mediante la instrumentación de 35 dovelas.

Durante el periodo de medición, la masa de suelo estuvo sometida a importantes cambios de presión hidráulica, sin embargo, el resultado final se manifestó en forma de abatimientos, con excepción de la estación EP-3. En el pozo la presión se incrementó, de manera que el fenómeno registrado por las estaciones pudo tener su origen en la filtración de agua hacia el túnel.

*Colector Semiprofundo Iztapalapa.* Se analizó la información correspondiente a 13 secciones de piezometría, 16 secciones de convergencia y un pozo de observación.

Aún cuando fueron instalados un considerable número de secciones piezométricas, los datos obtenidos estuvieron limitados por la duración de los periodos de medición.

La presión hidráulica presenta cambios erráticos que parecen estar relacionados con la respuesta de los diferentes piezómetros utilizados.

*Colector Canal Nacional-Chalco.* Es en este túnel donde la falta de instrumentación muestra con mayor énfasis la importancia de realizar mediciones periódicas que permitan observar la evolución del comportamiento mecánico. Los desplazamientos comenzaron a medirse 20 meses después de iniciada la excavación, cuando las deformaciones habían alcanzado magnitudes peligrosas para la estabilidad de la obra.

Por las características estratigráficas del medio, el túnel presentó condiciones especiales, al encontrarse situado entre 2 estratos de alta permeabilidad, generando fuertes filtraciones a través del revestimiento primario, lo que implicó fuertes deformaciones sobre la estructura de soporte.

*Importancia de la impermeabilidad del revestimiento.* Ante las condiciones hidrodinámicas provocadas por la permeabilidad del revestimiento, resultan inevitables las deformaciones inducidas, cuyo efecto se manifiesta en el comportamiento de las secciones instrumentadas.

*Influencia del procedimiento constructivo.* Fue necesario un análisis cualitativo de algunos aspectos constructivos que afectaron, principalmente, la magnitud de los desplazamientos iniciales.

En primer término, la mayoría de las estaciones registró un incremento de la presión de poro en el frente de excavación, este hecho pudo alterar las propiedades mecánicas de los materiales.

Durante el proceso de excavación del Interceptor Central, se presentaron fundamentalmente dos variables: la presión de inyección y la presión en la cámara de trabajo. La última se tradujo en ligeros movimientos a lo largo de la construcción; el fenómeno fue reflejado por el comportamiento de las secciones.

En el Interceptor Centro-Centro, los Colectores Semiprofundo Iztapalapa y Canal Nacional-Chalco, los factores constructivos más importantes se refieren a la presión de inyección, la presión frontal y la velocidad de empuje.

- 4.2 Considerando los efectos de las fuerzas de filtración y del procedimiento constructivo, los desplazamientos máximos fueron:

	<i>Desplazamiento máximo. (cms)</i>	<i>Deformación Unitaria</i>
<i>Interceptor Central</i>	8.0	0.014
<i>Interceptor Centro-Centro</i>	5.0	0.009
<i>Colector Semiprofundo Iztapalapa</i>	1.5	0.004
<i>Colector Canal Nacional-Chalco</i>	11.4	0.032

Considerando las recomendaciones de Peck, (ref 26), la magnitud de las deformaciones excede al valor admisible de 0.002.

Es importante observar la influencia del revestimiento definitivo en el comportamiento mecánico del Interceptor Centro-Centro y del Colector Semiprofundo Iztapalapa, al reducir la velocidad de deformación en forma notable; mientras que en el Interceptor Central y el Colector Canal Nacional, la carencia del mismo permite el incremento de los desplazamientos considerablemente.

- 4.3 Al realizar la construcción de un túnel debajo del nivel freático, en un medio semi-infinito, homogéneo e isótropo, se provoca la filtración de agua a su interior, modificando el estado de esfuerzos y deformaciones.



De acuerdo con los resultados teóricos, se observa que los esfuerzos efectivos sobre la periferia de la excavación, tienden a aumentar con el diámetro y profundidad del túnel. Modificando la magnitud de los elementos mecánicos, especialmente, incrementando los momentos flexionantes que actúan sobre el revestimiento. Por ejemplo, en el Interceptor Central se estimaron esfuerzos radiales del orden de hasta de  $20 \text{ t/m}^2$ .

La obtención de los parámetros mecánicos mediante el procedimiento estructural descrito, permite estimar la magnitud de los desplazamientos teóricos.

La correlación gráfica de la información de campo con los resultados analíticos, fig. 51, demuestra que estos últimos resultan ser superiores a los experimentales.

La diferencia puede ser debida a la influencia de una de las hipótesis del modelo: considerar al revestimiento primario totalmente permeable, cuando realmente se trata de una estructura semi-impermeable.

Desde el punto de vista práctico, los resultados pueden servir de sustento al procedimiento teórico expuesto y proponerlo como método de análisis para un diseño más racional de los revestimientos, en virtud de que el fenómeno derivado de las filtraciones ha sido poco evaluado.

- 4.4 La información reunida en este documento es escasa, sin embargo se visualiza que en el diseño de túneles no debe subestimarse la probabilidad de asentamientos derivados de las fuerzas de filtración, a pesar de los avances técnicos logrados para sellar el revestimiento primario.

El margen de incertidumbre en la estimación de los efectos del procedimiento constructivo, aún con las mejores técnicas, no podrá reducirse hasta que existan más y mejores registros de instrumentación.

Bajo tales circunstancias, es conveniente visualizar la influencia del revestimiento secundario o definitivo, en el comportamiento de los túneles. La velocidad de deformación y los desplazamientos se reducen, y en segundo lugar, las filtraciones tienden a disminuir, justificando así la importancia de su construcción.

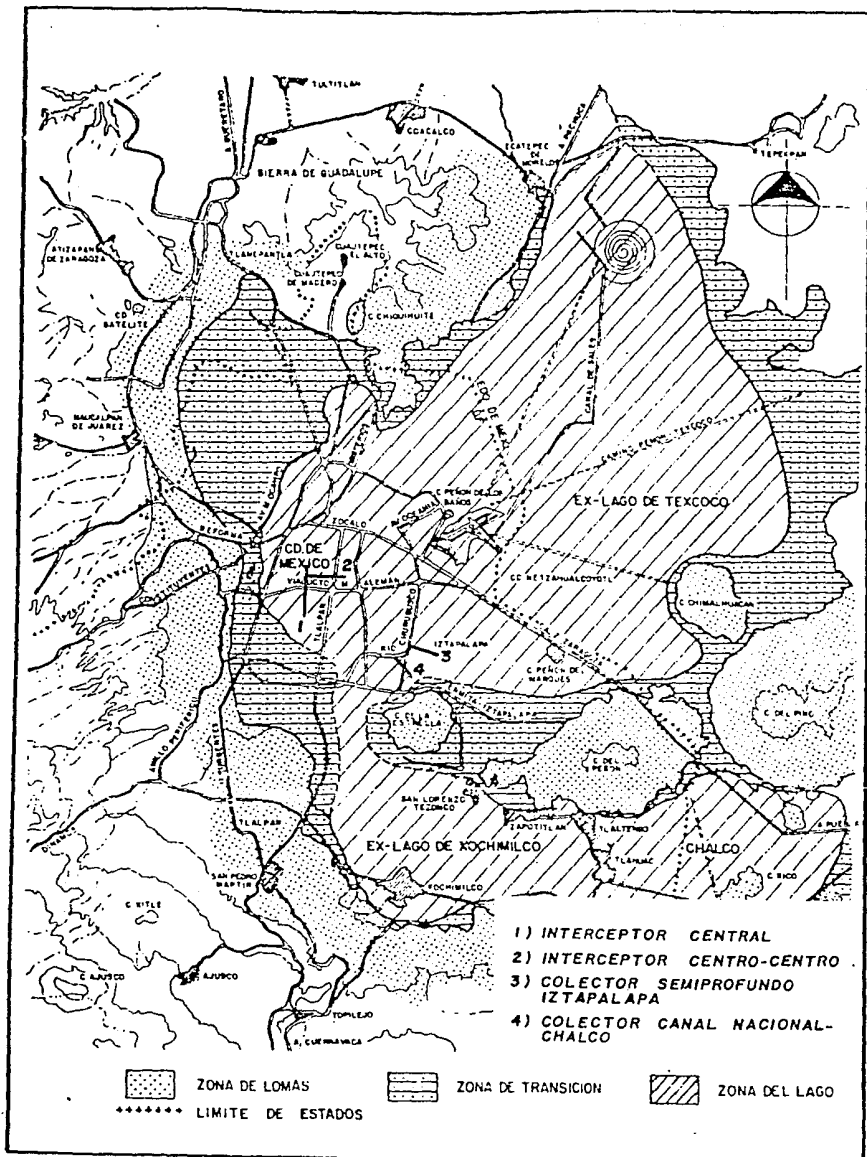


FIG. I. PLANO DE LOCALIZACION

FIG. 2. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-1 INTERCEPTOR CENTRAL.

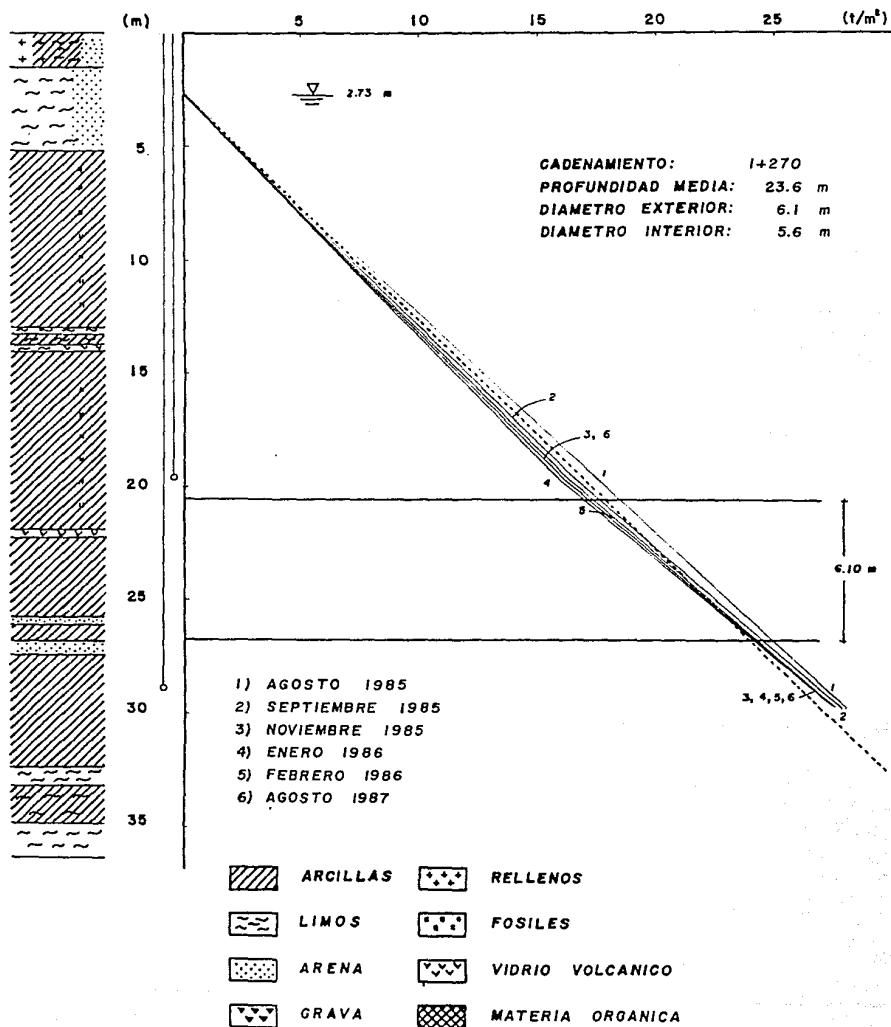


FIG. 3. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-2 INTERCEPTOR CENTRAL.

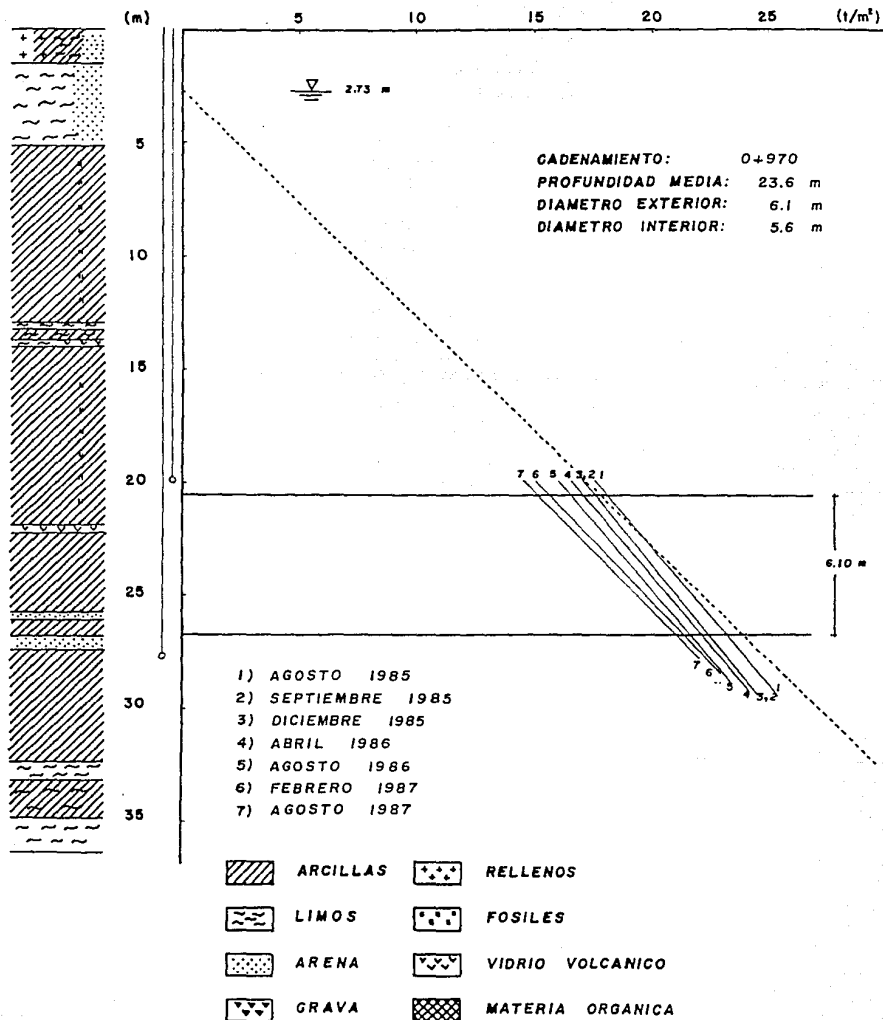


FIG. 4. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-3 INTERCEPTOR CENTRAL.

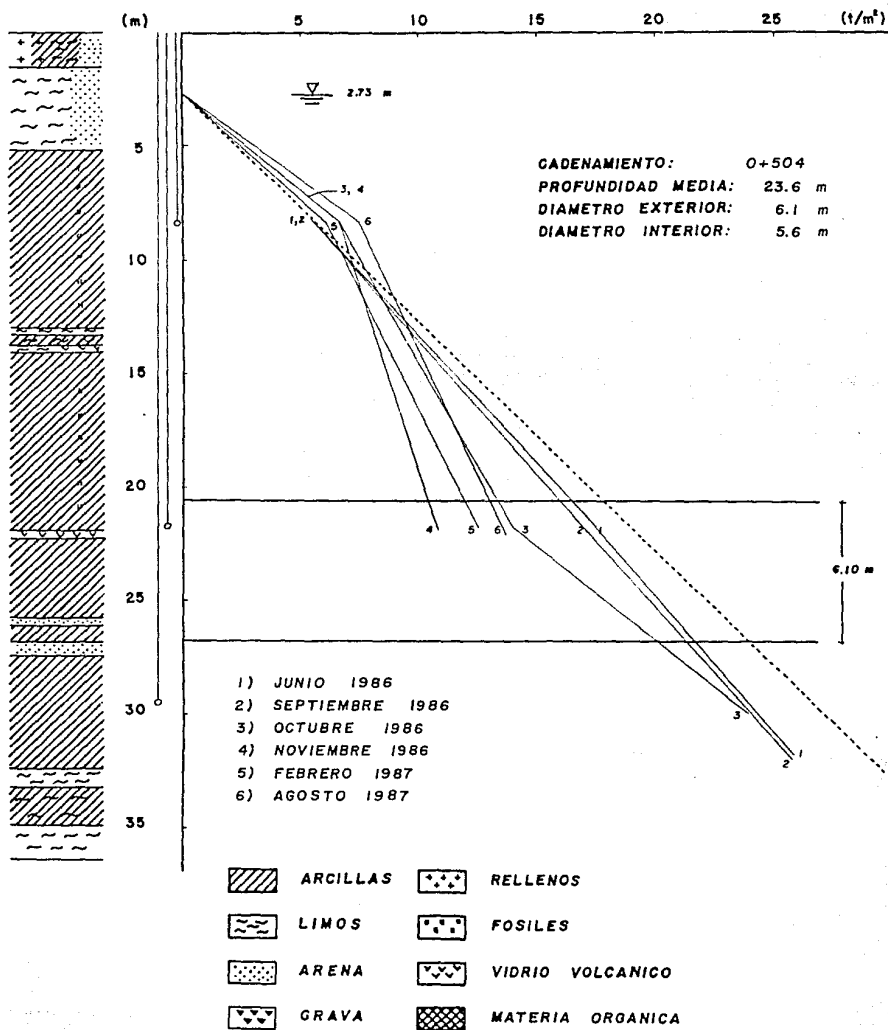


FIG. 5. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-4 INTERCEPTOR CENTRAL.

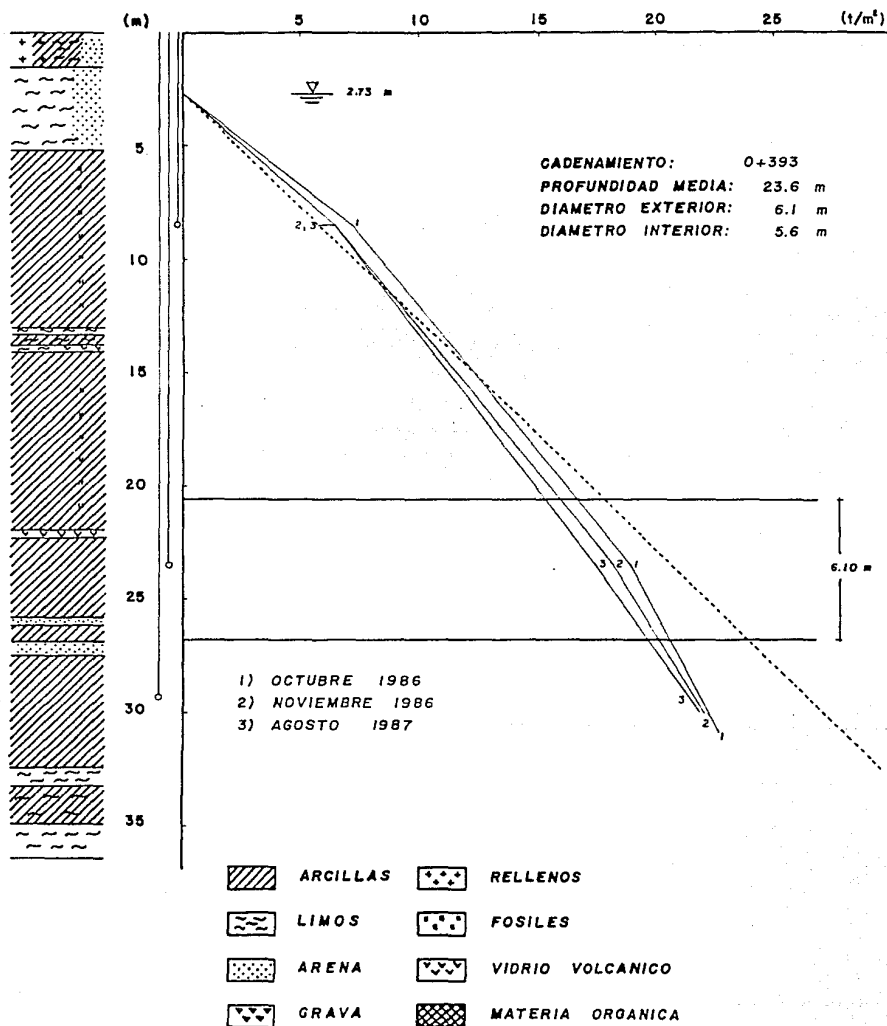


FIG. 6. PRESIONES HIDRAULICAS EN EL POZO 184-2 INTERCEPTOR CENTRAL.

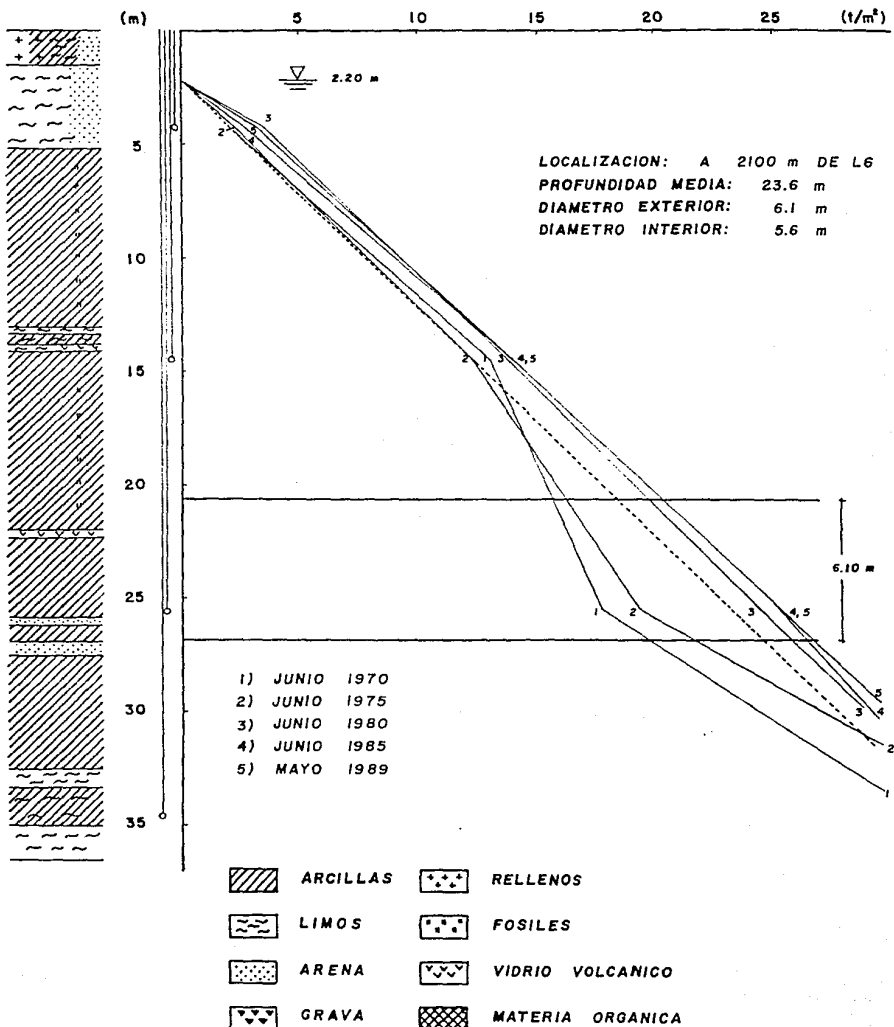




FIG. 7. PRESIONES HIDRAULICAS EN EL POZO 195 INTERCEPTOR CENTRAL.

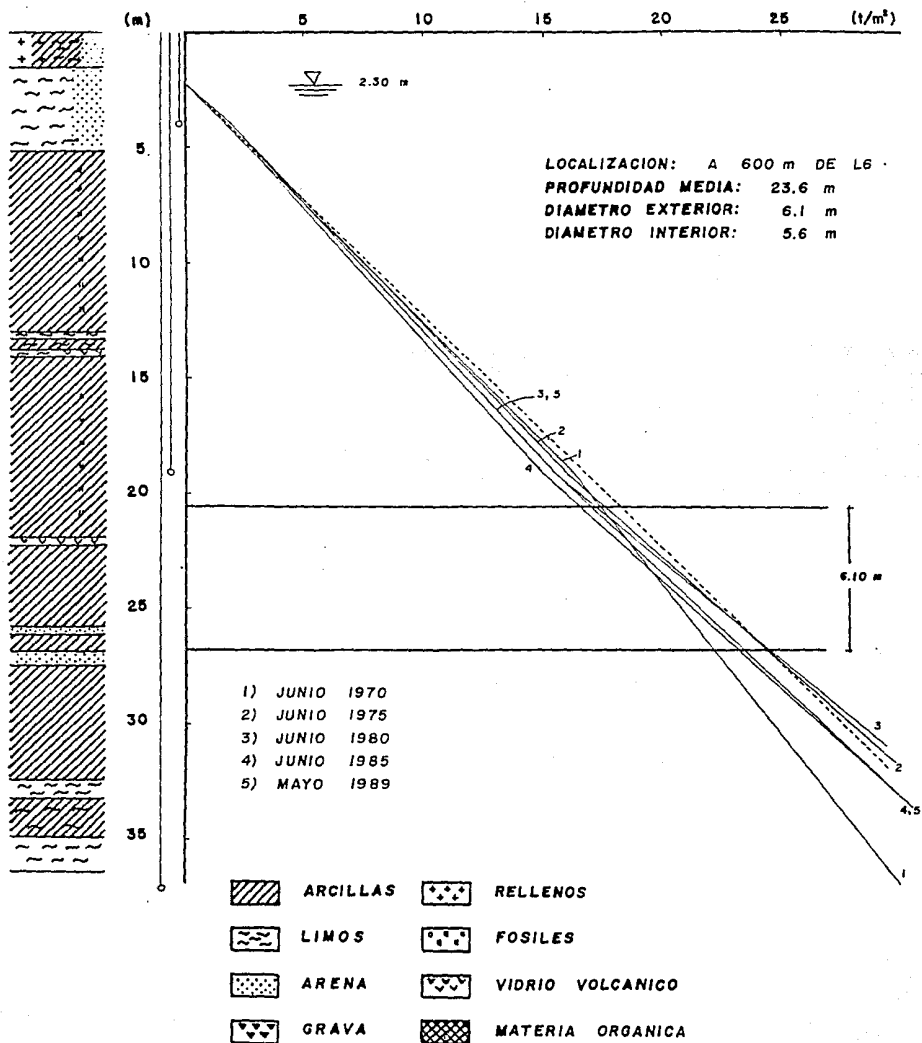


FIG. 8. PRESIONES HIDRAULICAS EN EL POZO 208 INTERCEPTOR CENTRAL.

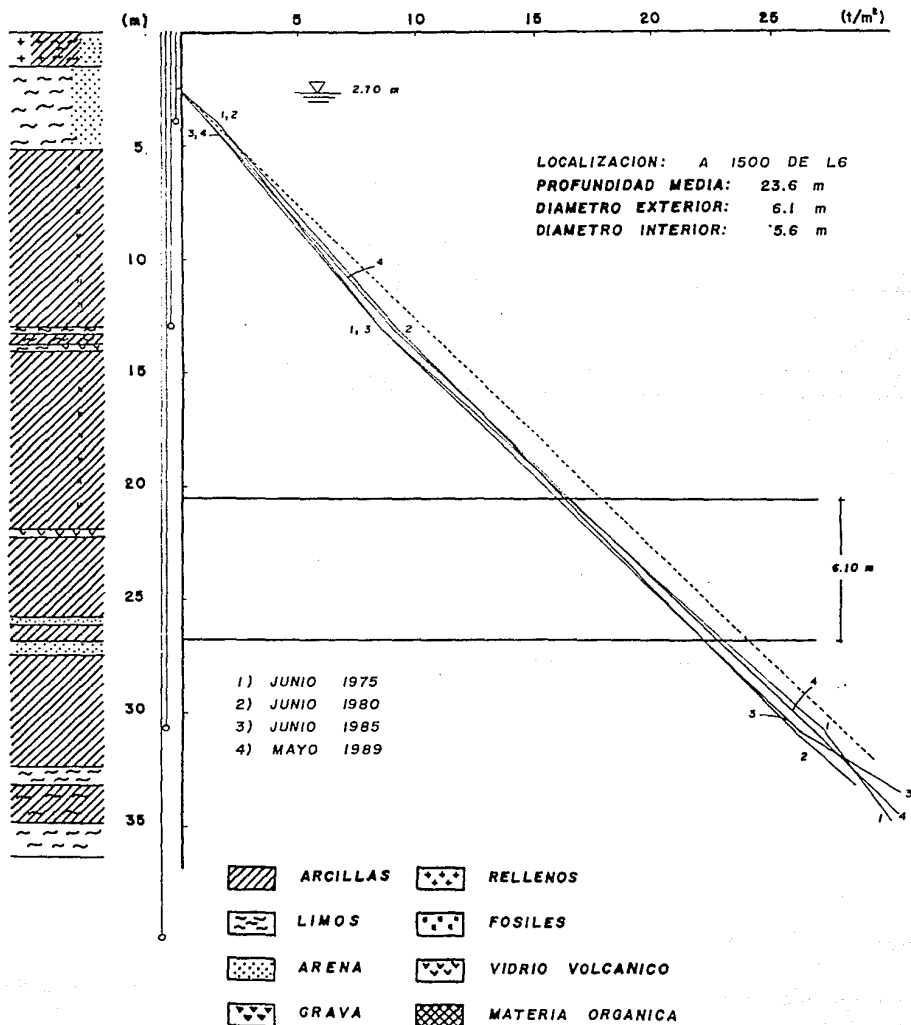


FIG. 9. PRESIONES HIDRAULICAS EN EL POZO 243 INTERCEPTOR CENTRAL.

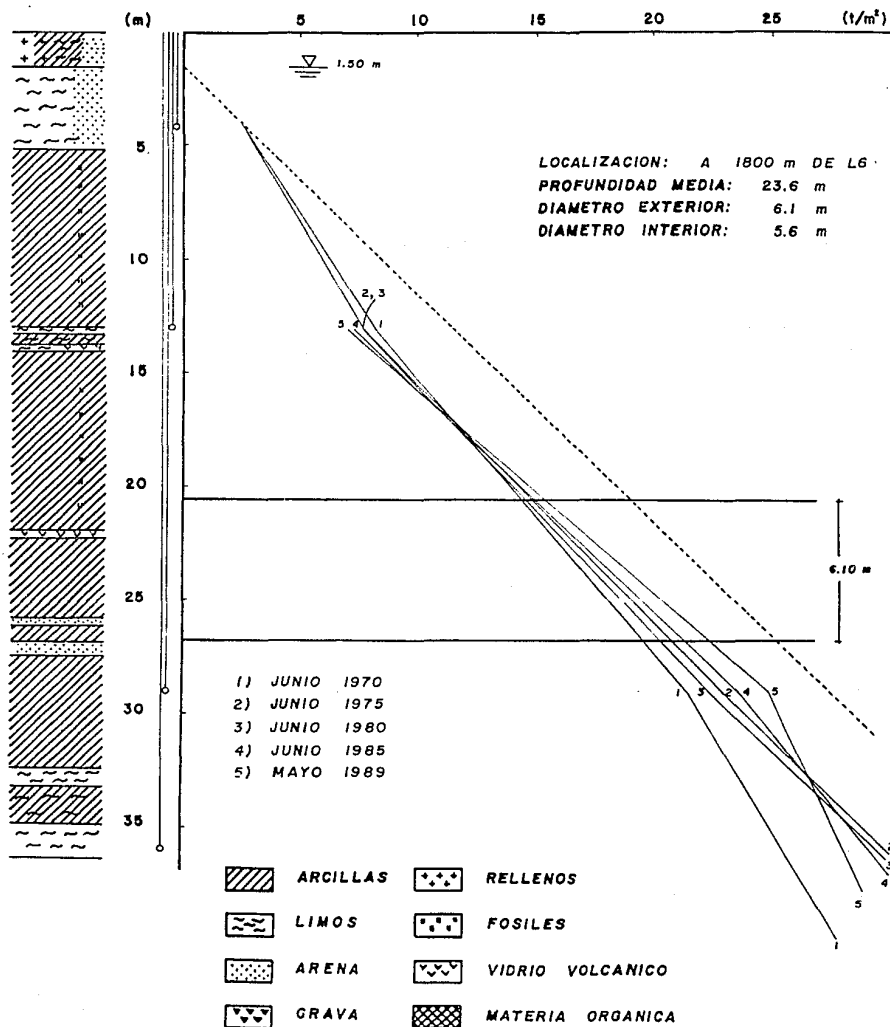


FIG. 10. PRESIONES HIDRAULICAS EN EL POZO 247 INTERCEPTOR CENTRAL.

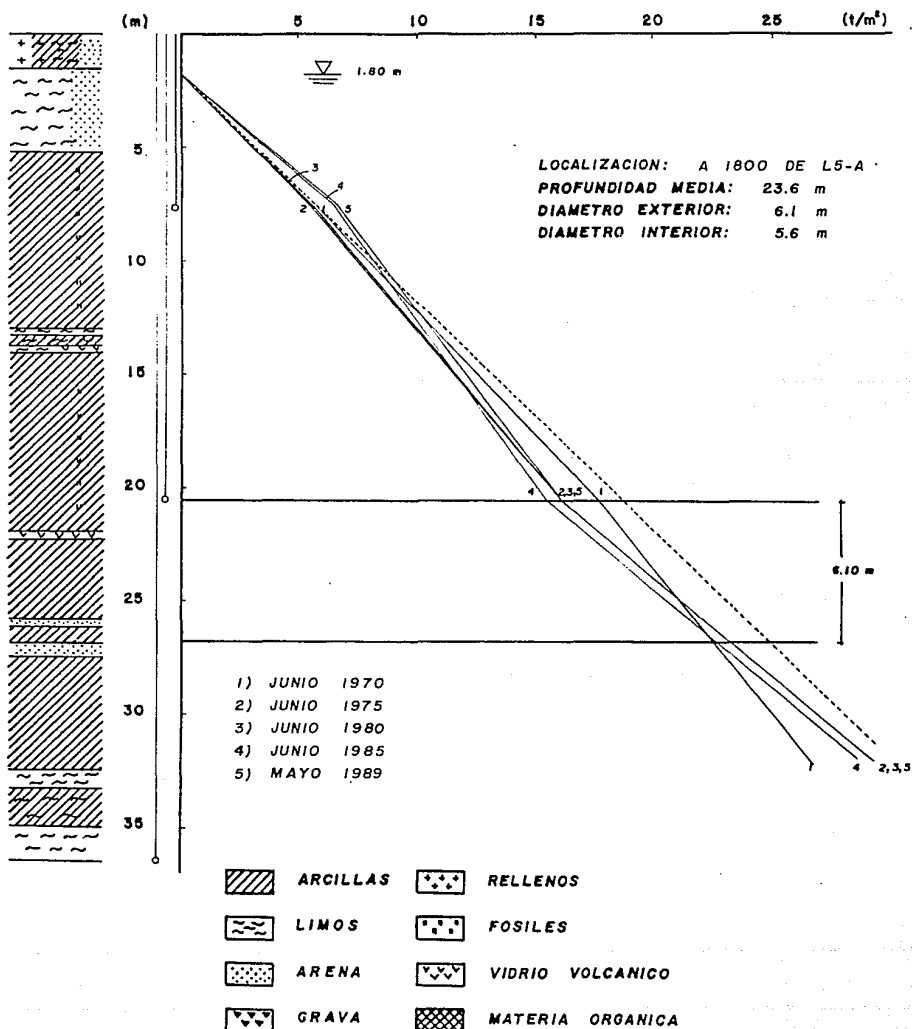


FIG. 11. SECCIONES DE CONVERGENCIA. INTERCEPTOR CENTRAL. E-1 (KM 1+270)

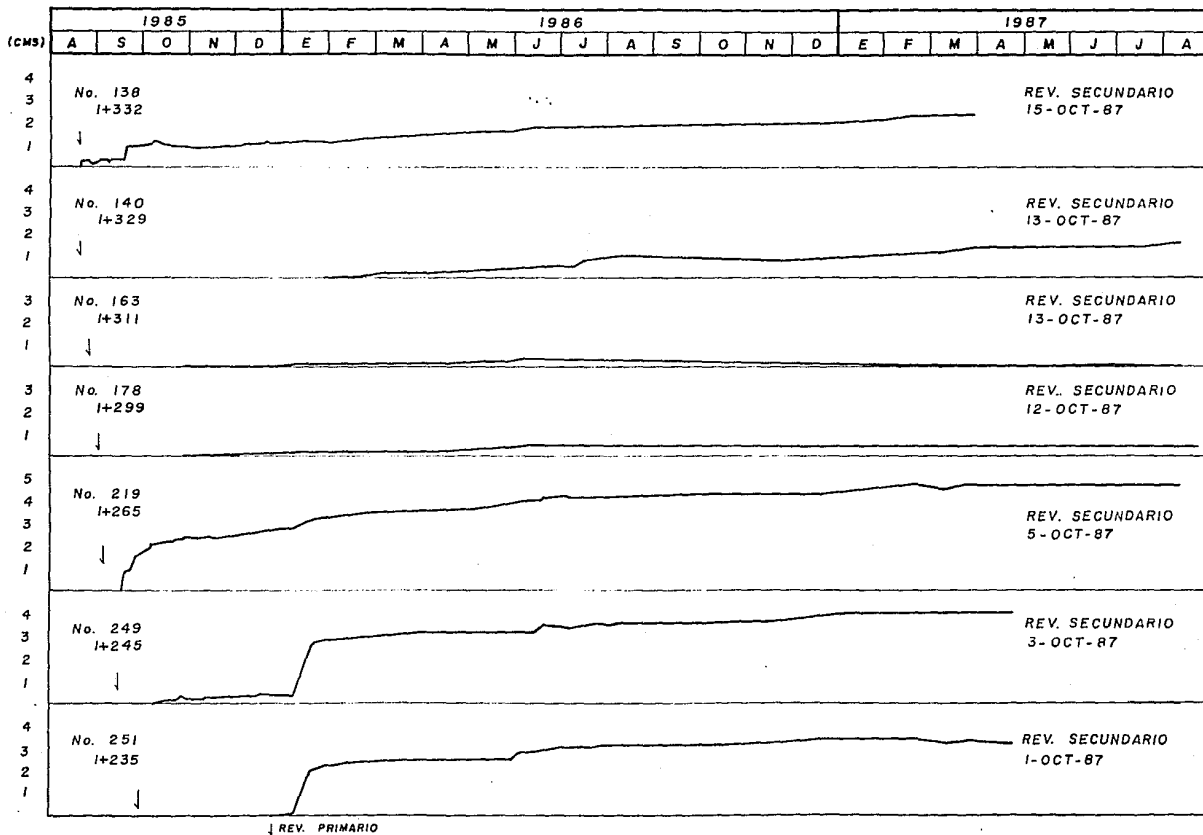


FIG. 12. SECCIONES DE CONVERGENCIA. INTERCEPTOR CENTRAL. E-2(KM 0+970)

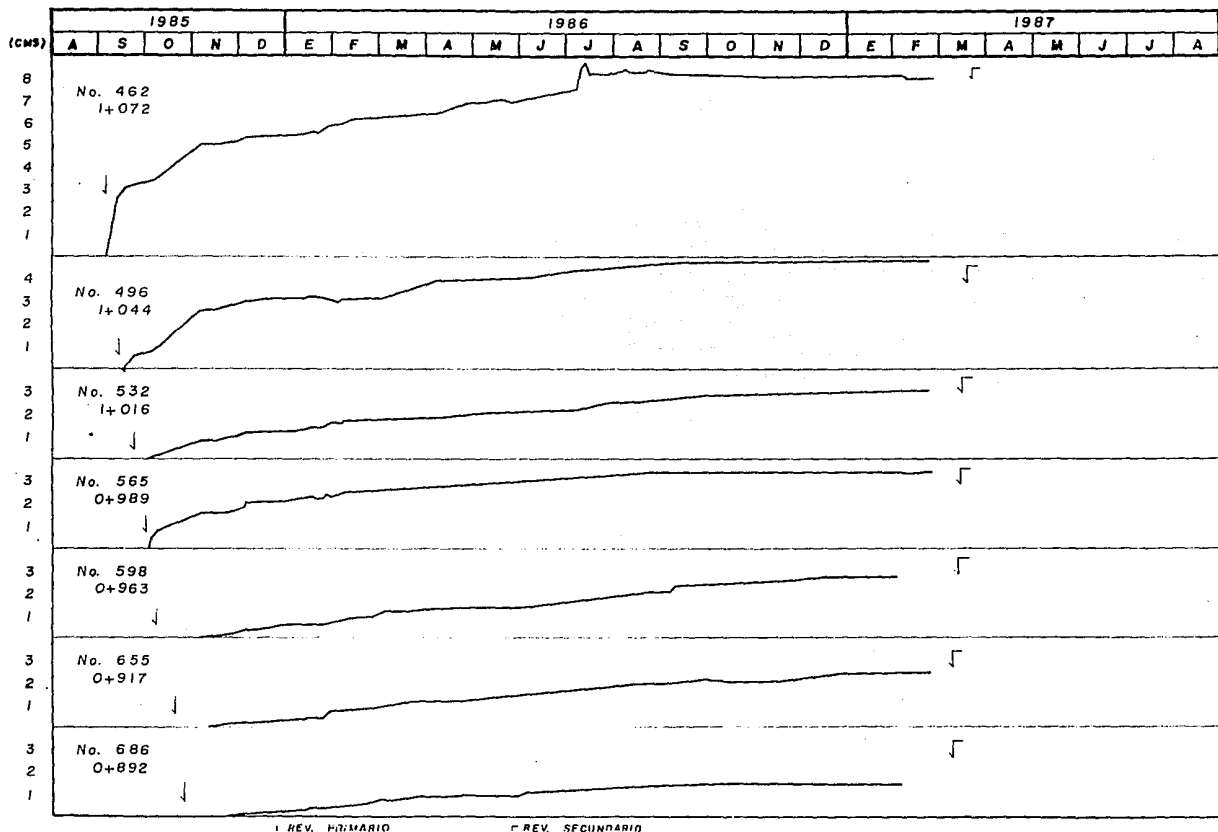


FIG. 13. SECCIONES DE CONVERGENCIA. INTERCEPTOR CENTRAL. E-3 (KM 0+504)

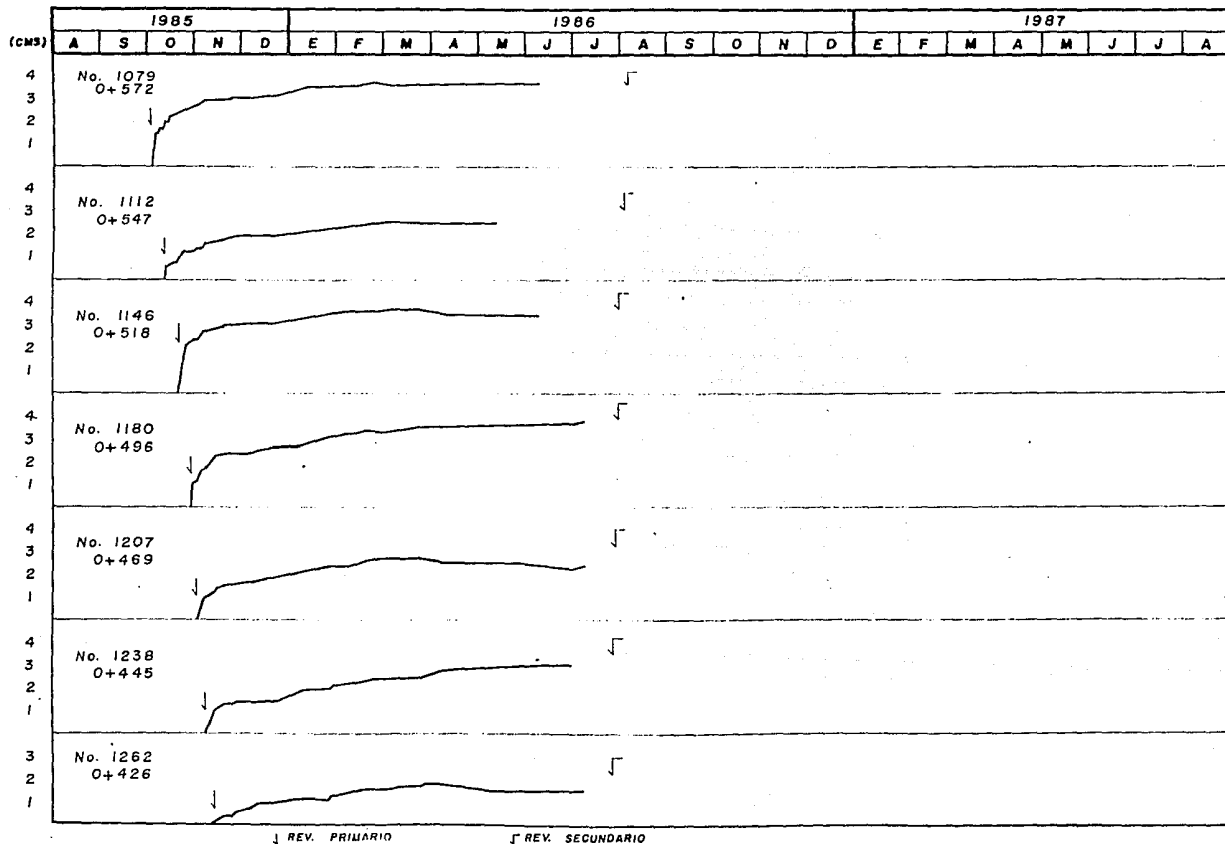
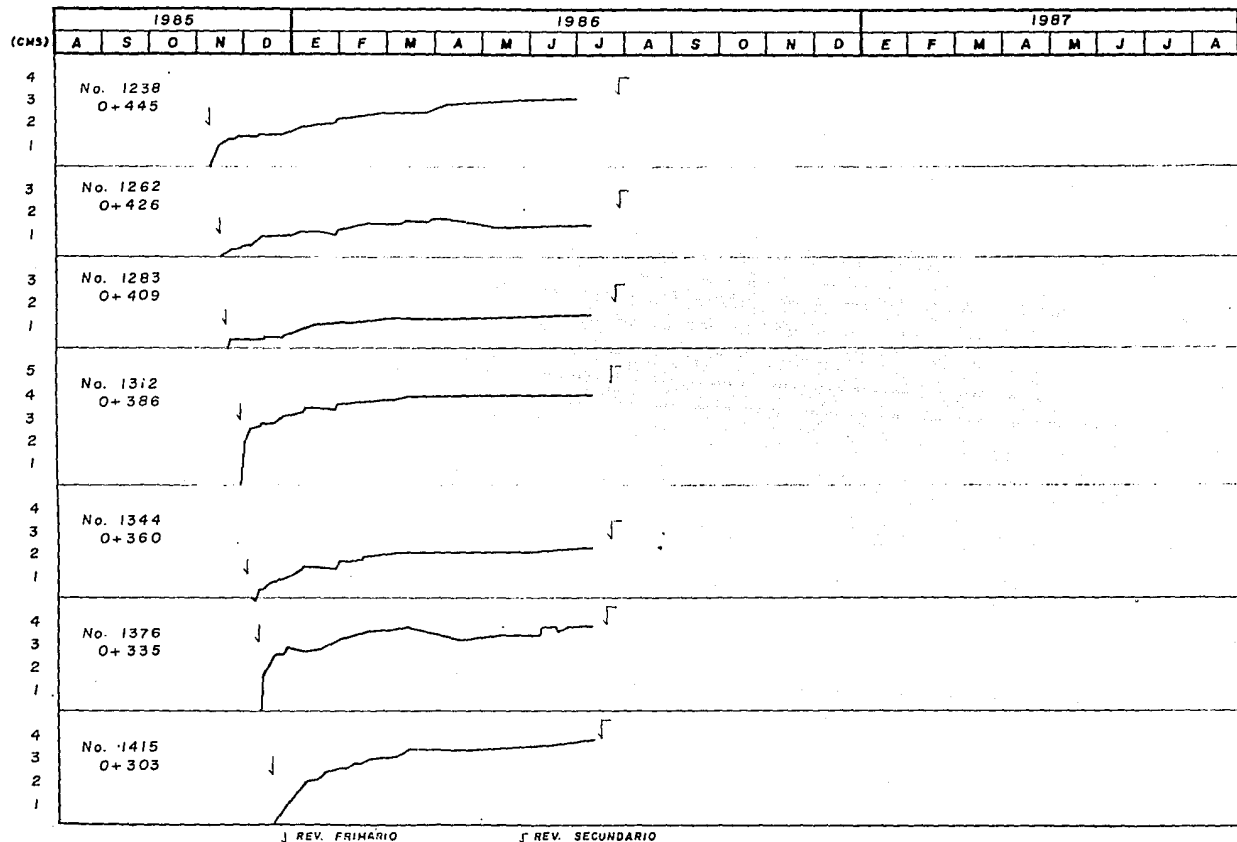


FIG. 14. SECCIONES DE CONVERGENCIA. INTERCEPTOR CENTRAL. E-4 (KM 0+393)



J REV. PRIMARIO

J REV. SECUNDARIO



FIG. 15. PRESIONES HIDRAULICAS A LA PROFUNDIDAD MEDIA DEL TUNEL INTERCEPTOR CENTRAL

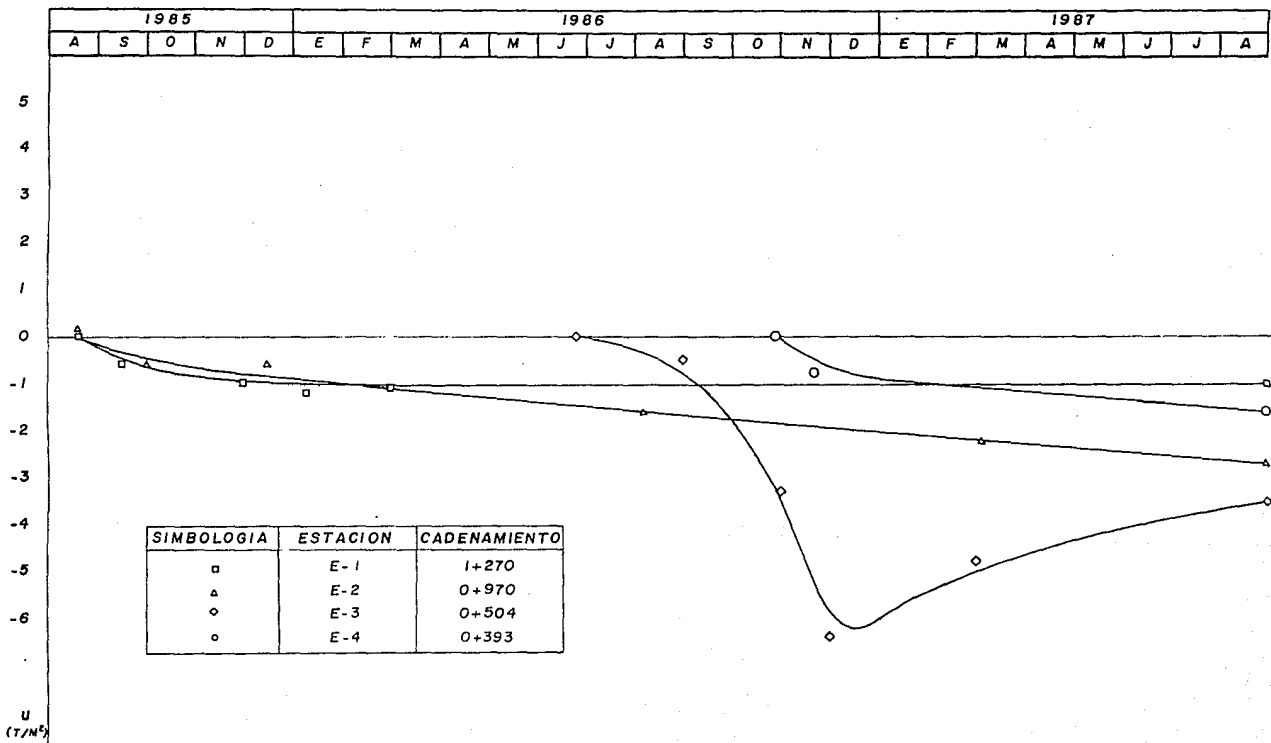


FIG. 16. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION EP-1 INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO

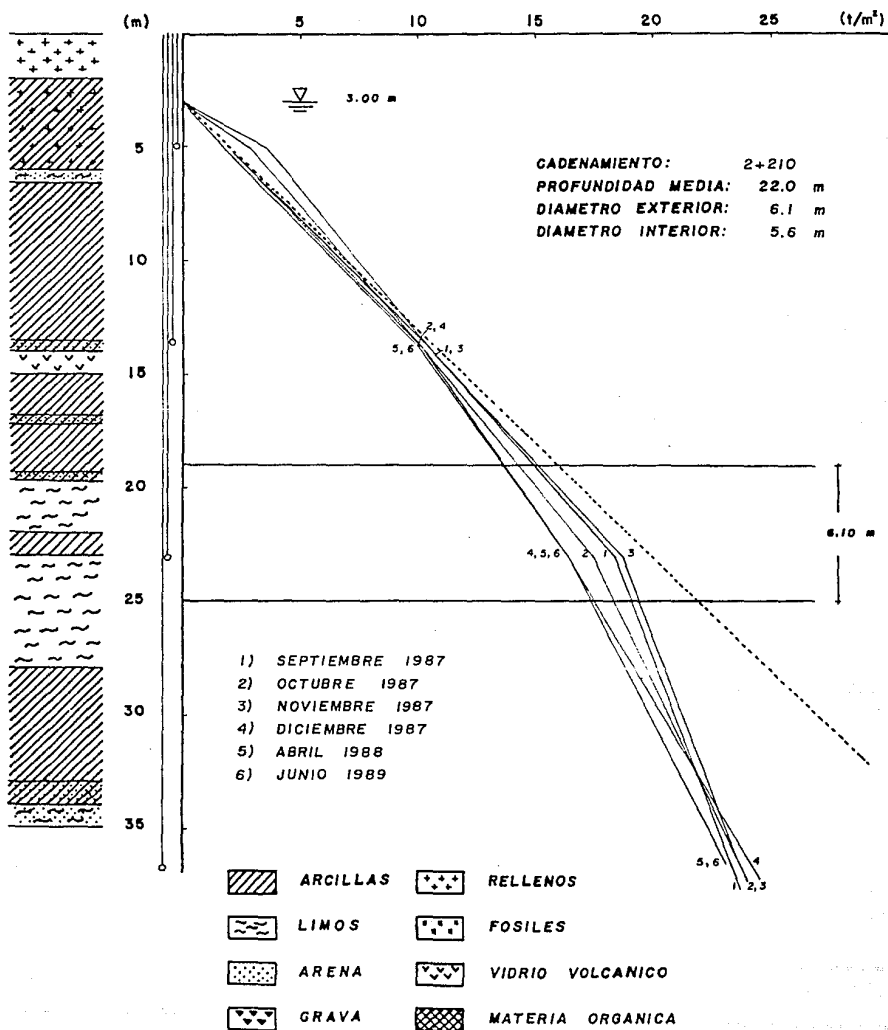


FIG. 17. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION EP-2 INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO

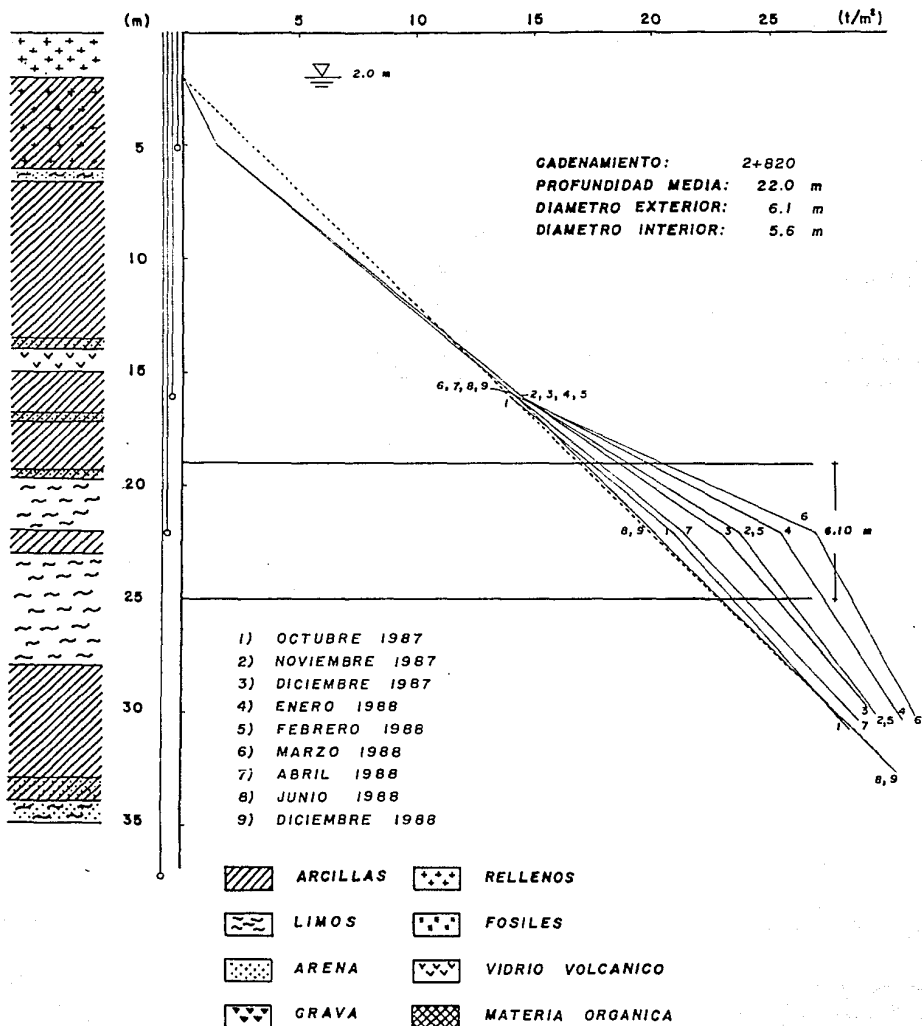


FIG. 18. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION EP-L3 INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO

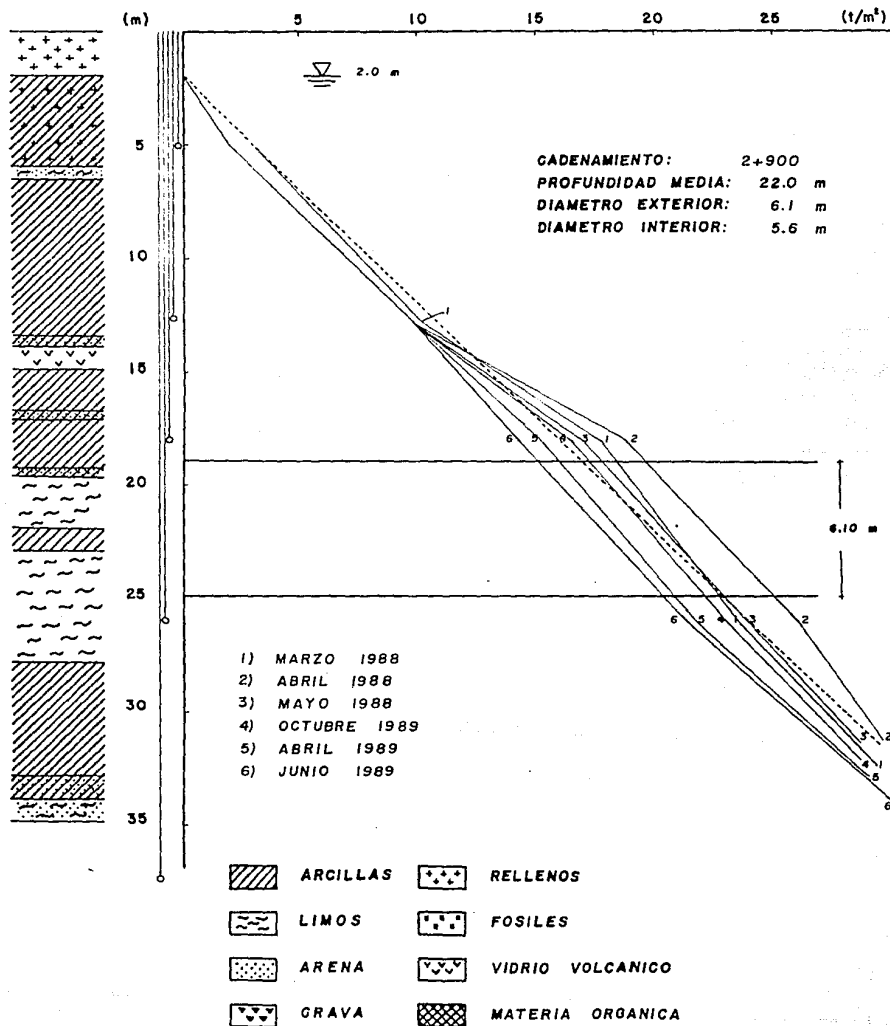


FIG. 19. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION EP-3 INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO

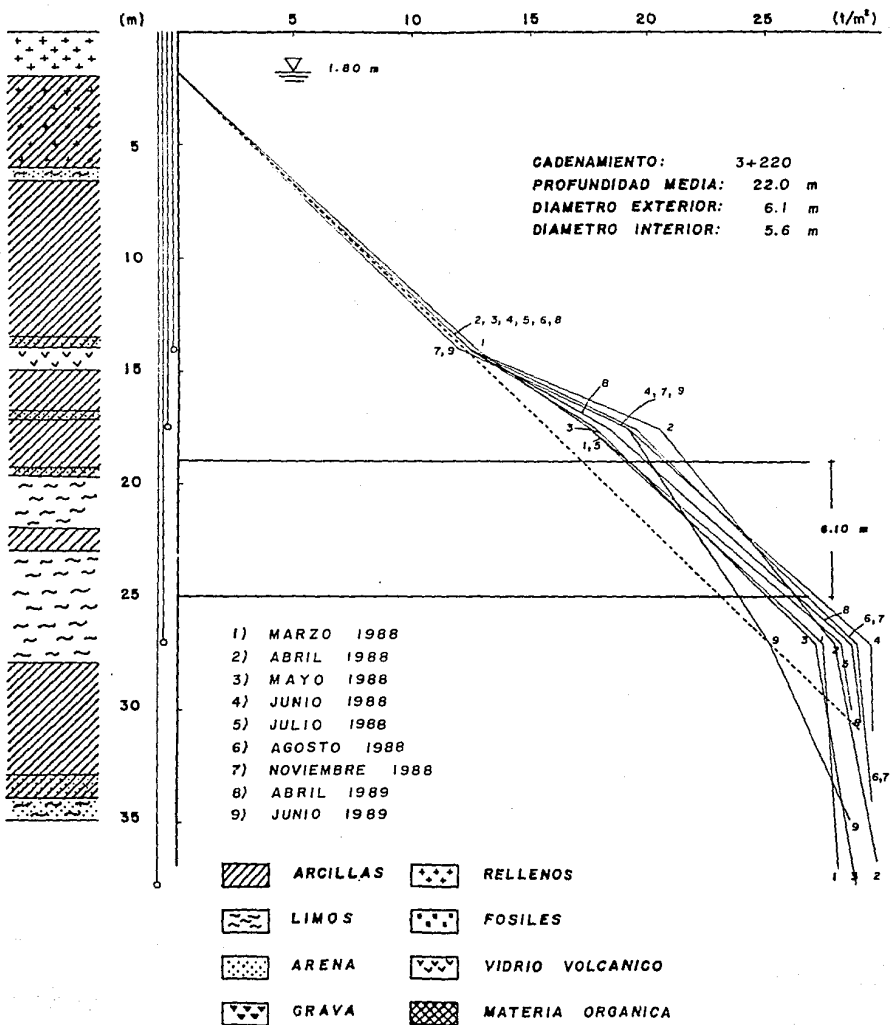


FIG. 20. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION EP-4  
INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO

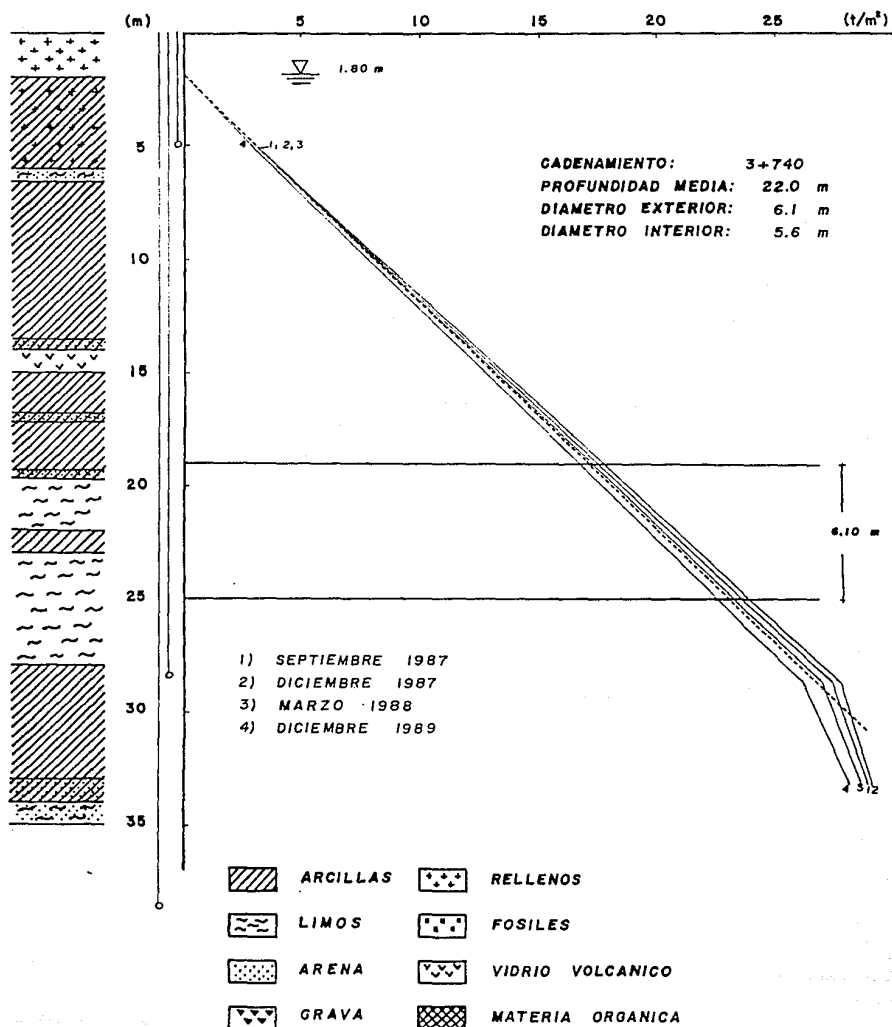


FIG. 21. PRESIONES HIDRAULICAS EN EL POZO 501-1 INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO

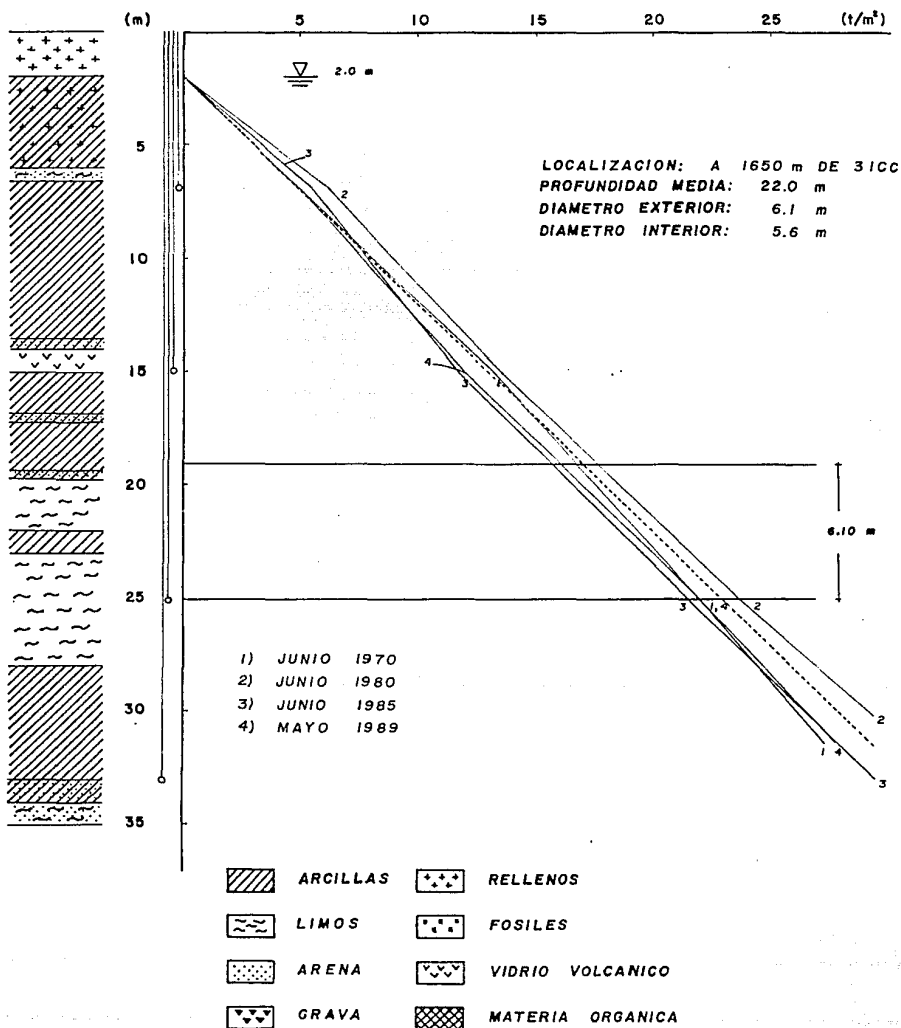


FIG. 22. SECCIONES DE CONVERGENCIA. INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO EP-1(KM 2+210)

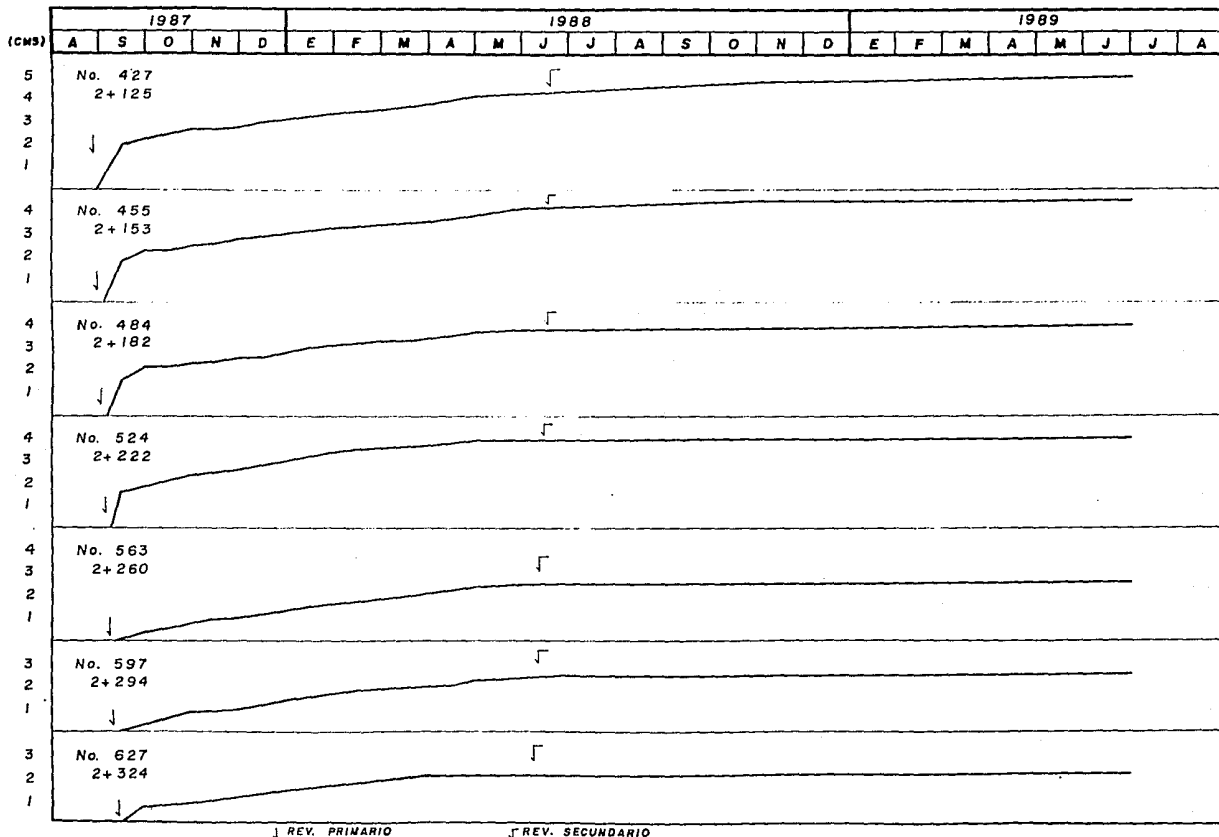
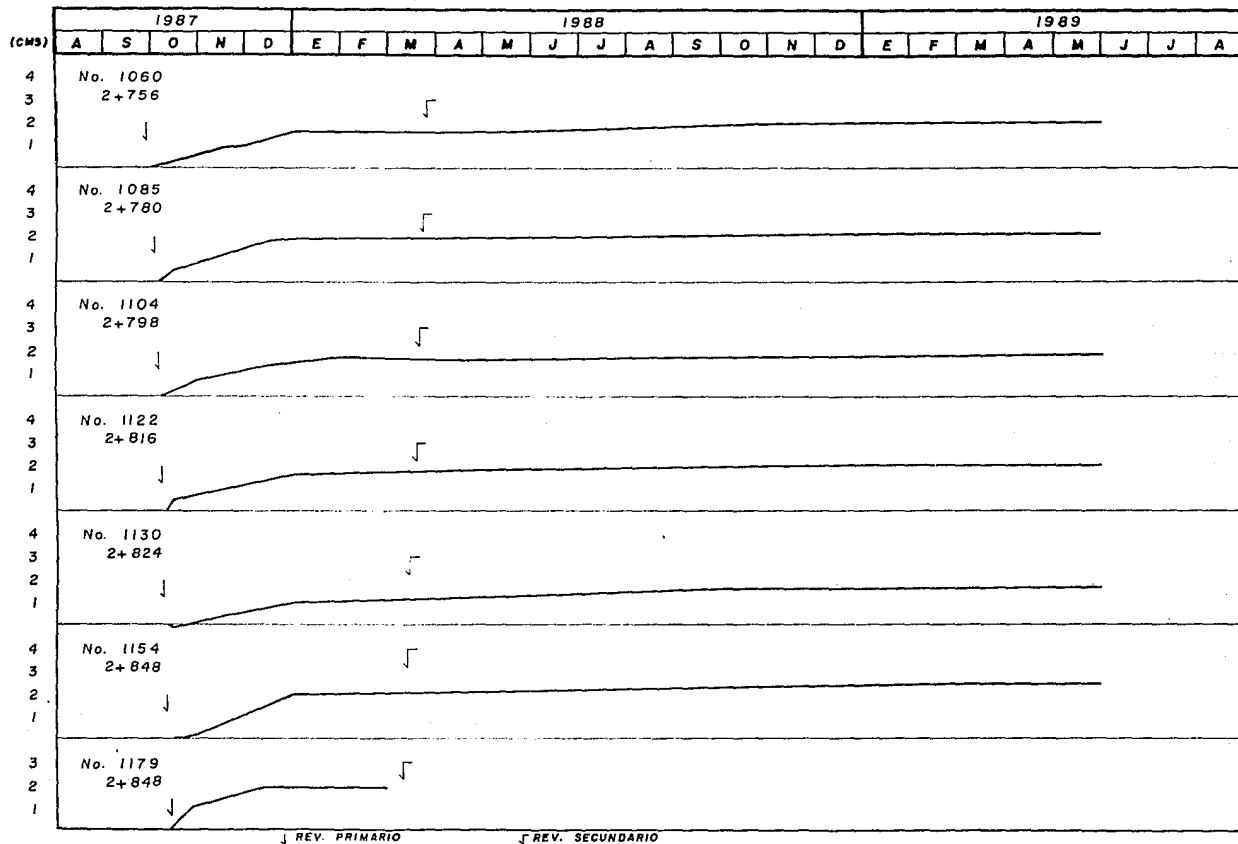




FIG. 23. SECCIONES DE CONVERGENCIA. INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO EP-2 (KM 2+820)



↓ REV. PRIMARIO

↙ REV. SECUNDARIO

FIG. 24. SECCIONES DE CONVERGENCIA.

INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO

EP-L3 (KM 2+900)

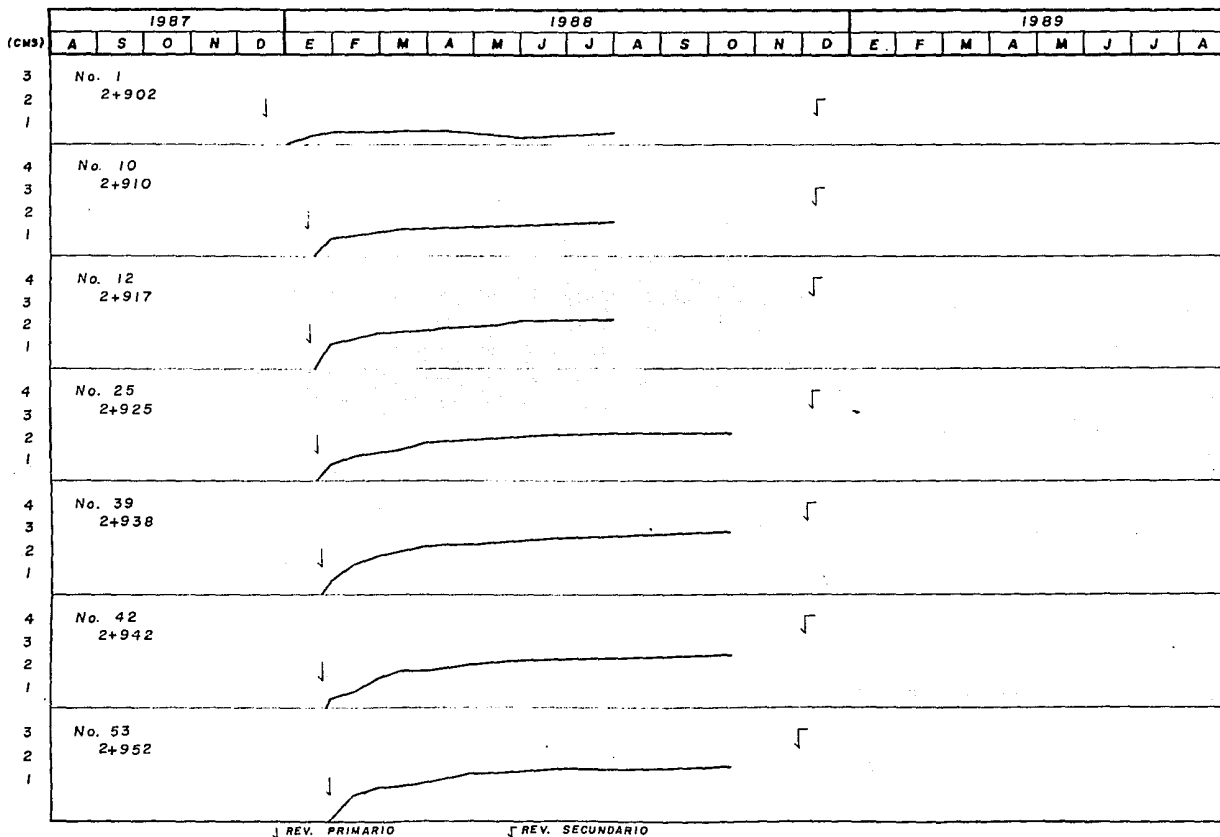
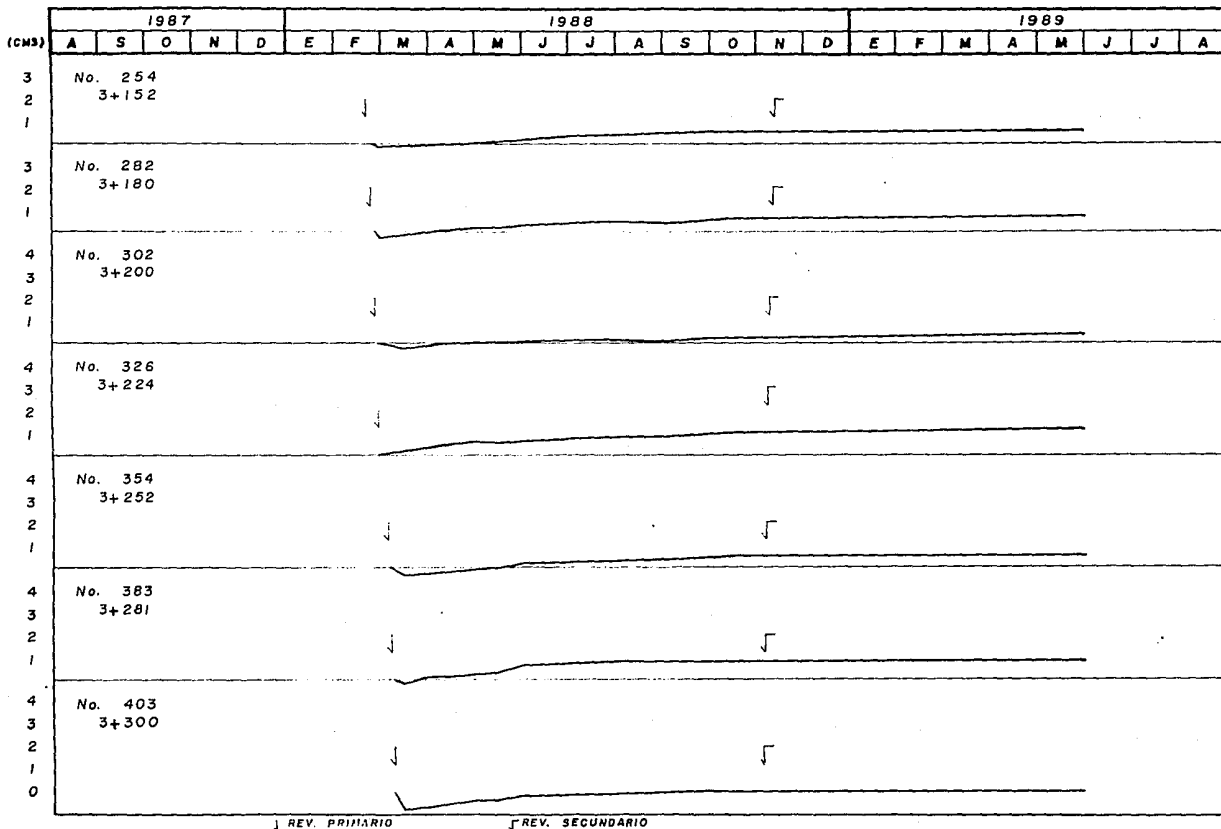


FIG. 25. SECCIONES DE CONVERGENCIA.

INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO

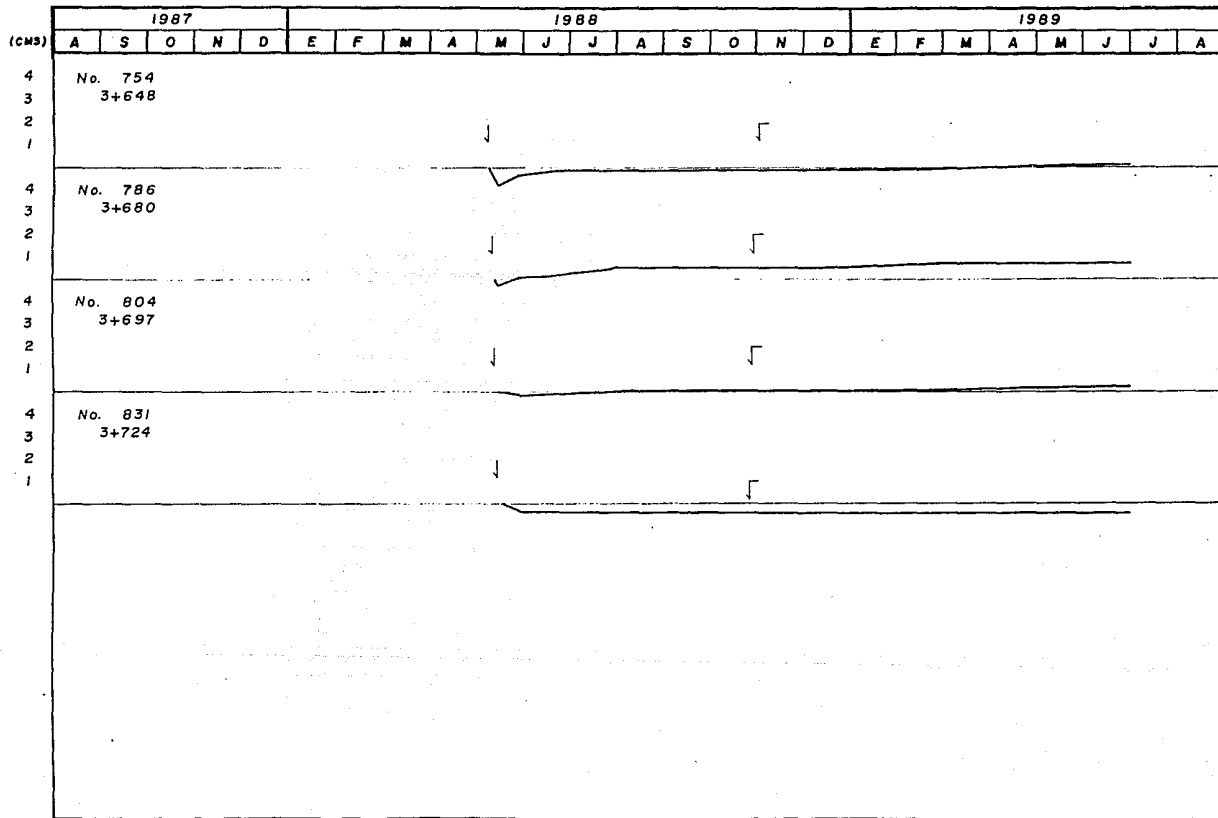
EP-3 (KM 3+220)



REV. PRIMARIO

REV. SECUNDARIO

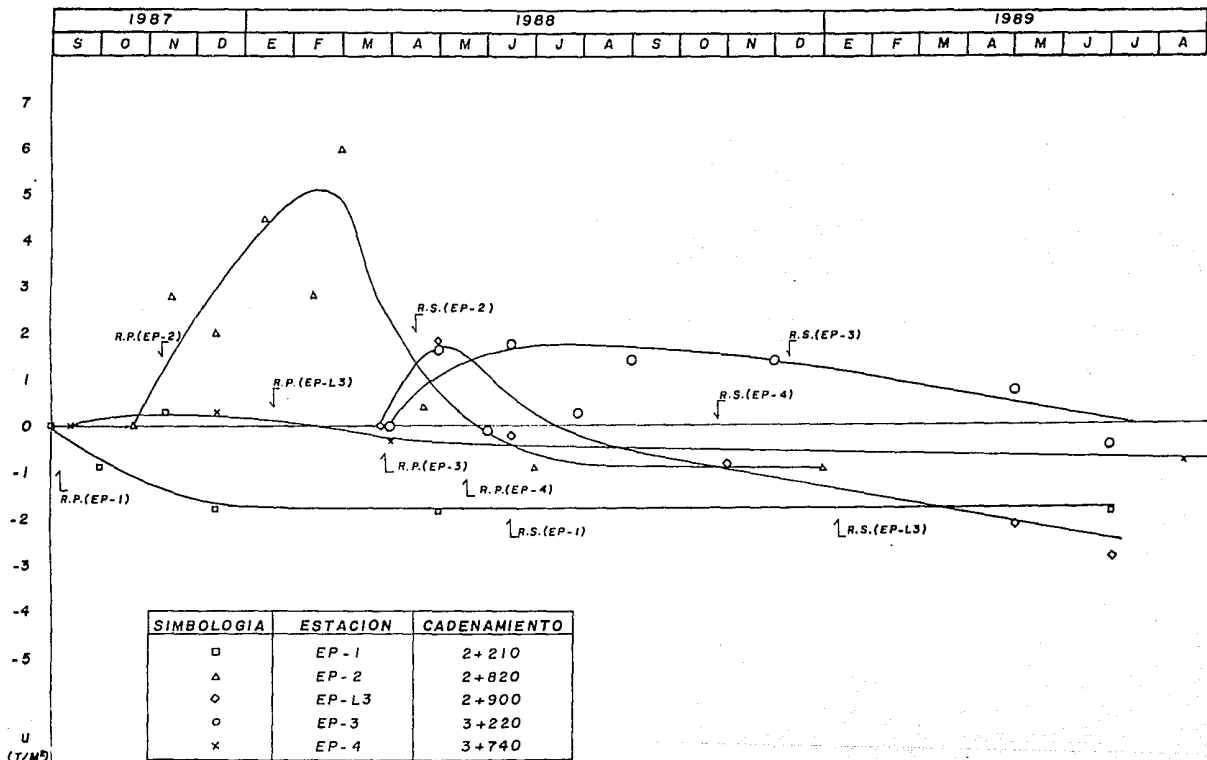
FIG. 26. SECCIONES DE CONVERGENCIA. INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO EP-4 (KM 3+740)



↓ REV. PRIMARIO

┘ REV. SECUNDARIO

FIG. 27. PRESIONES HIDRAULICAS A LA PROFUNDIDAD MEDIA DEL TUNEL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO



R.P. REV. PRIMARIO  
R.S. REV. SECUNDARIO

FIG. 28. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-1 SEC-1  
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

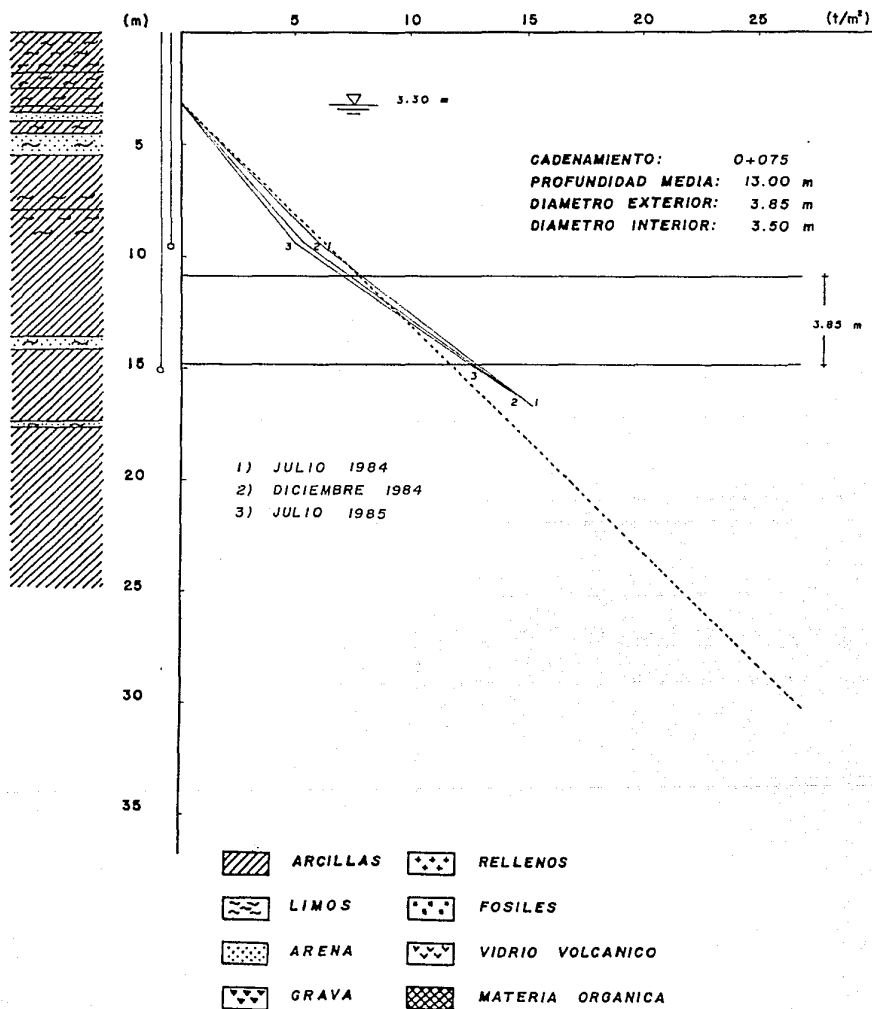


FIG. 29. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-1 SEC-2  
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

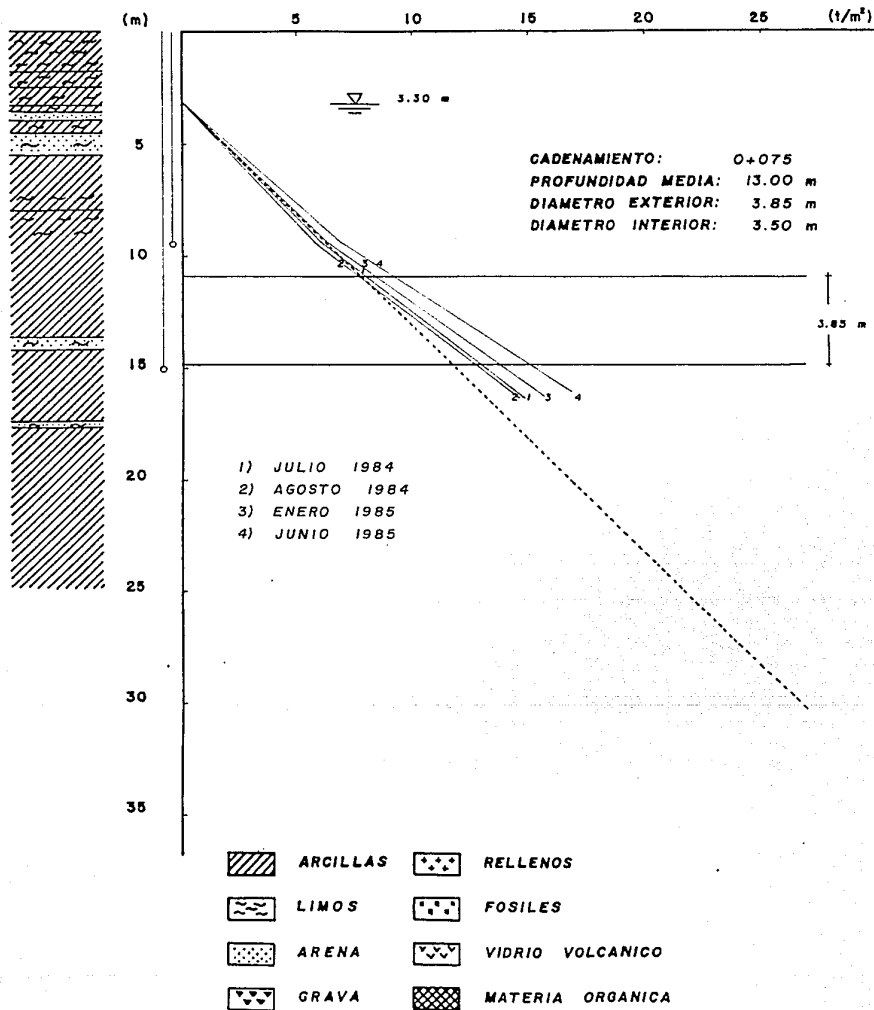


FIG. 30. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-1 SEC-3  
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

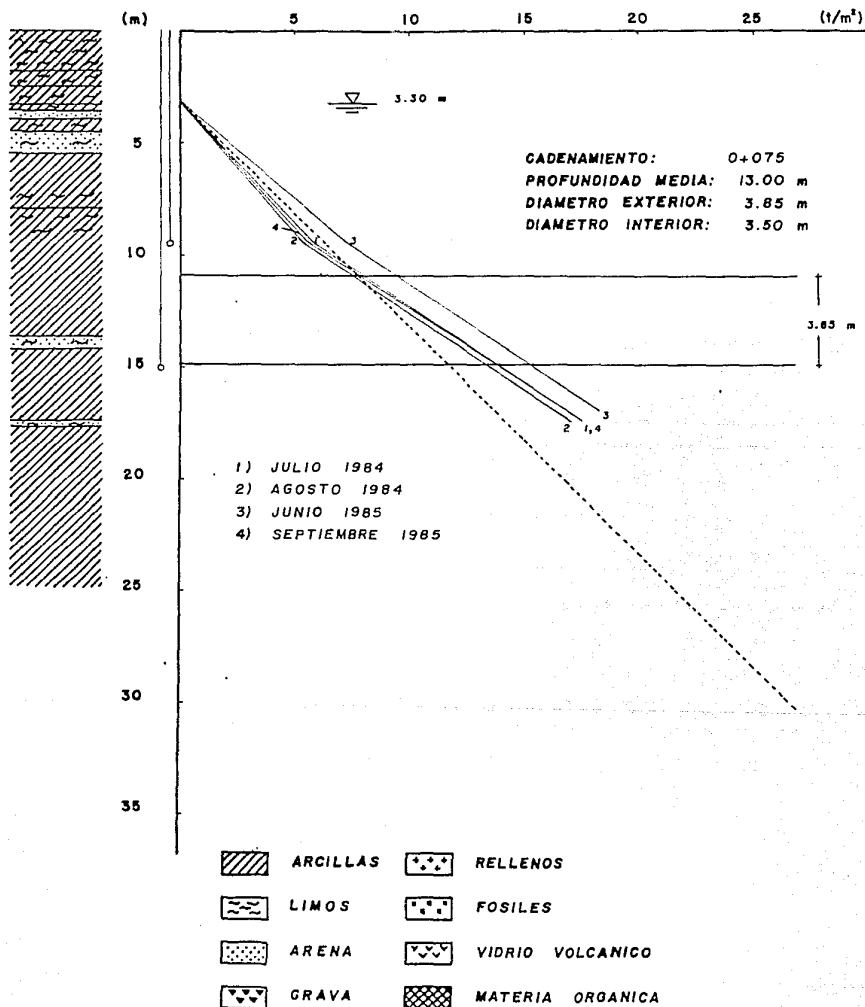




FIG. 31. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-2 SEC-1  
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

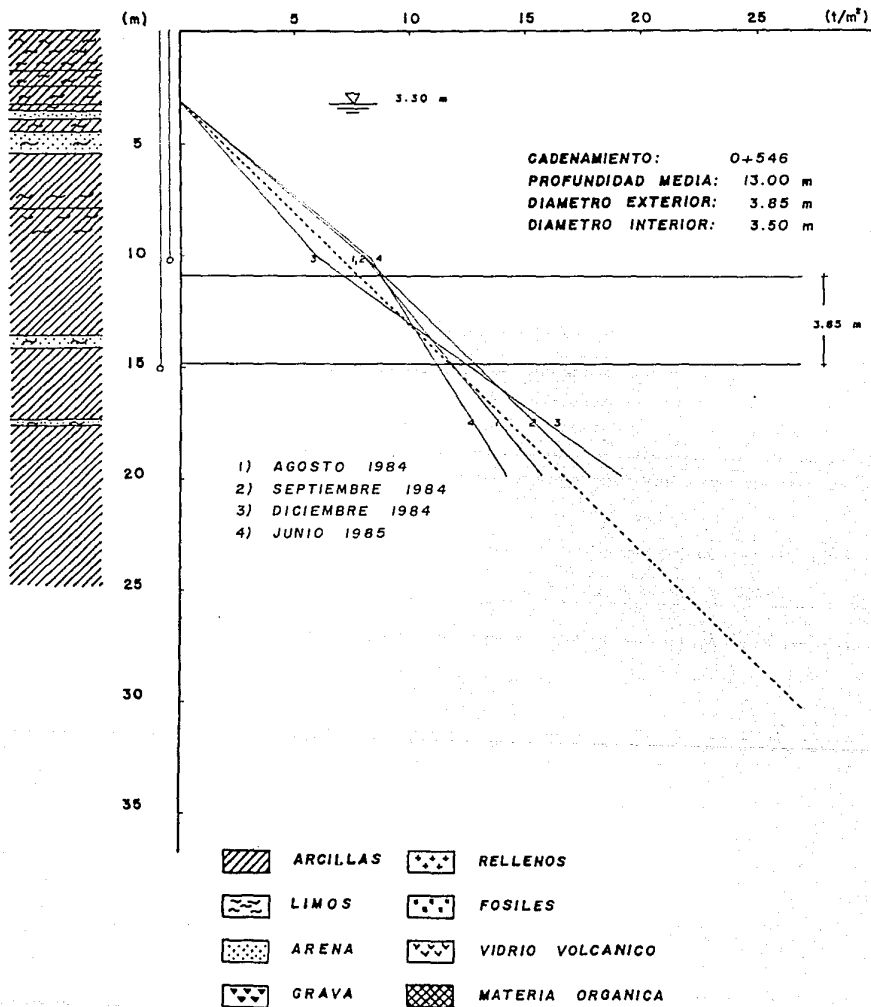


FIG. 32. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-2 SEC-2 COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

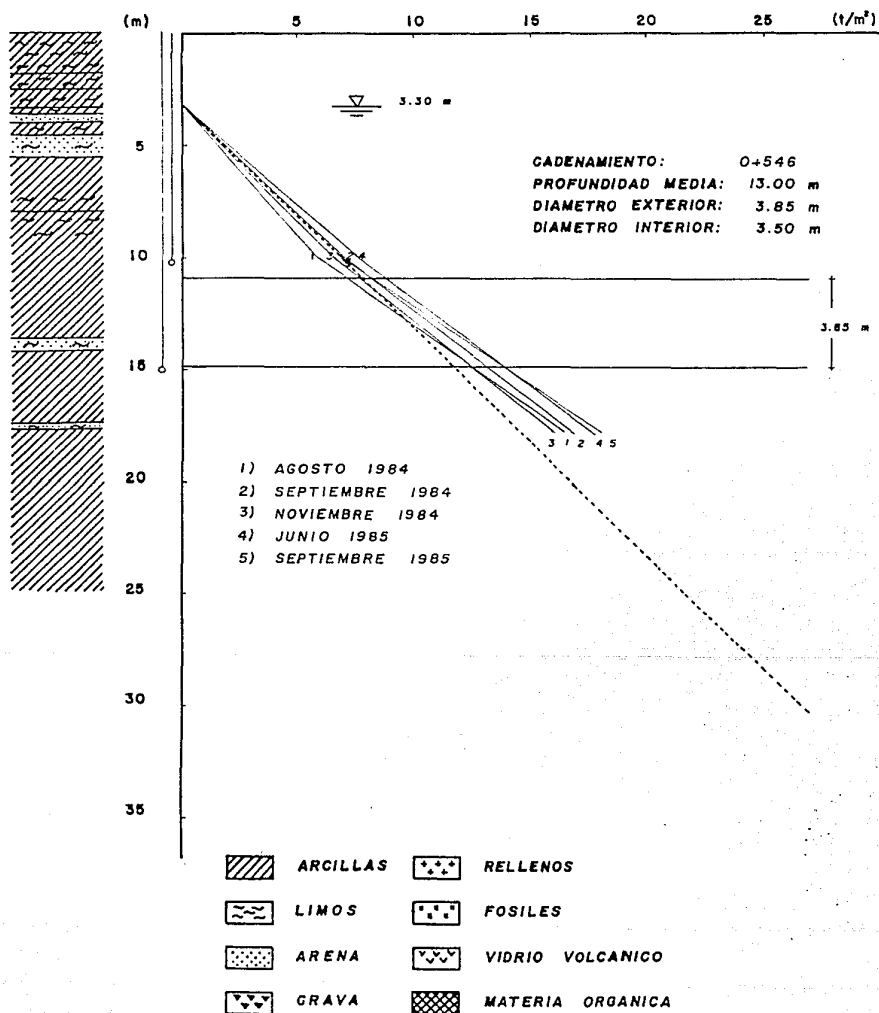


FIG. 33. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-2 SEC-3  
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

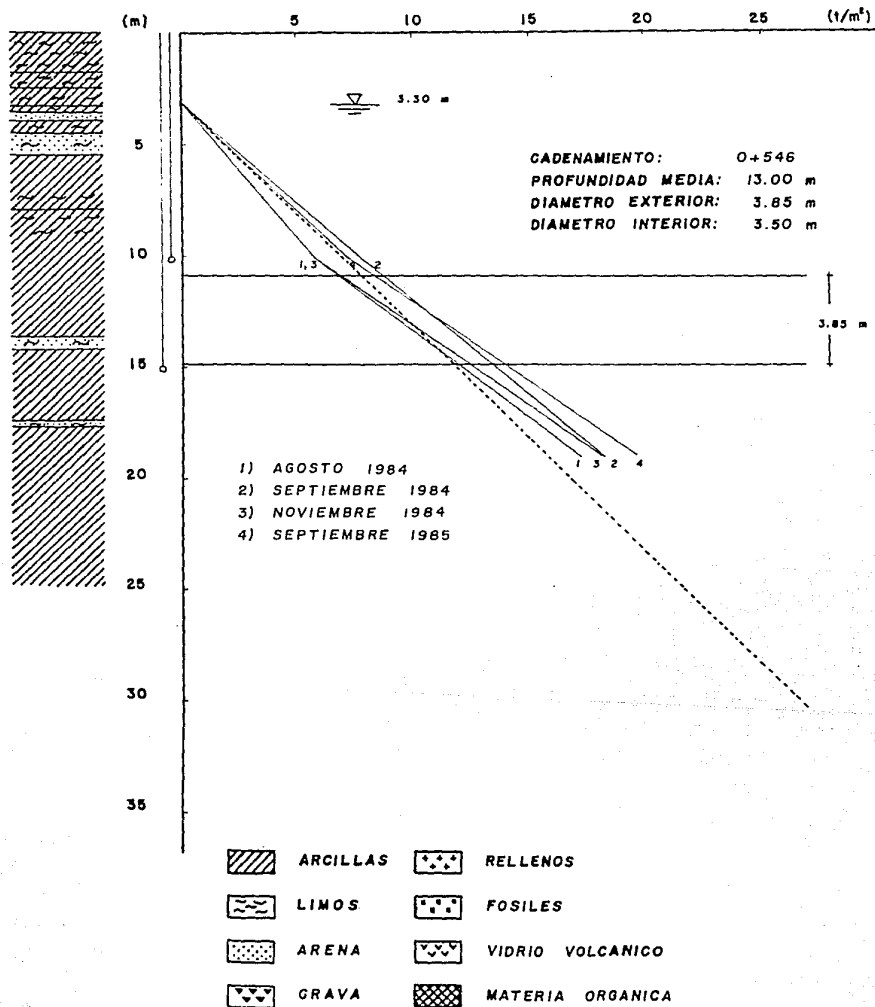


FIG. 34. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-2 SEC-4  
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

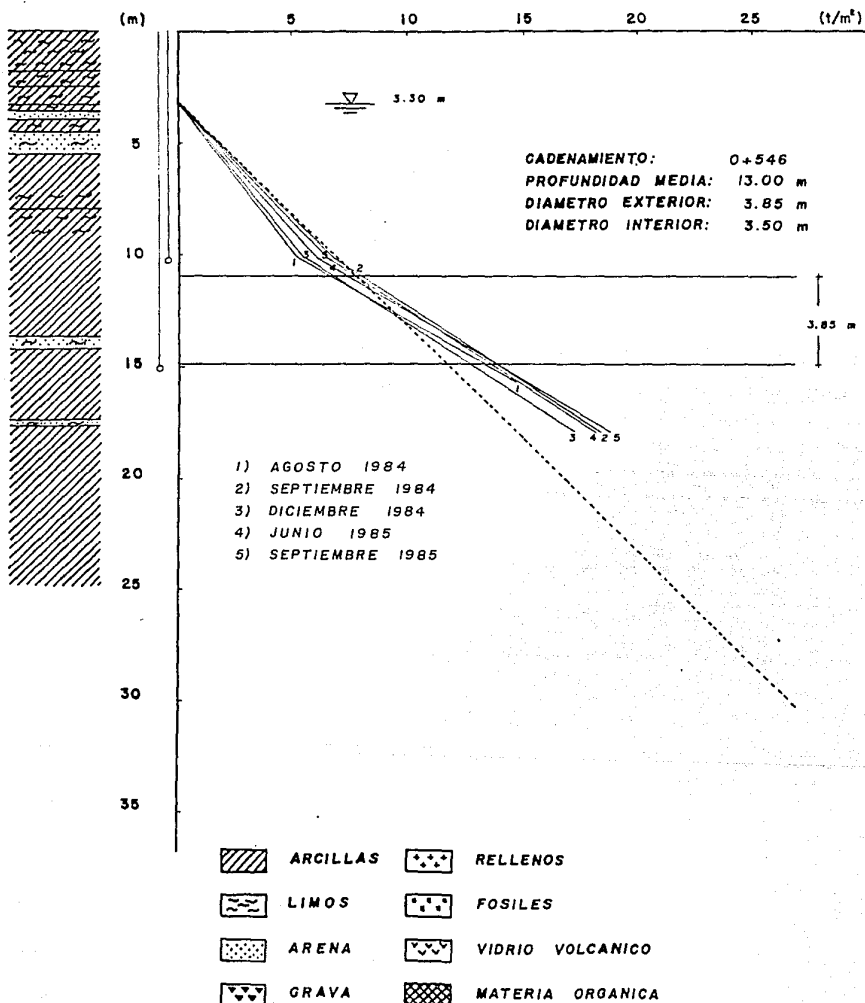


FIG. 35. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-2 SEC-5  
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

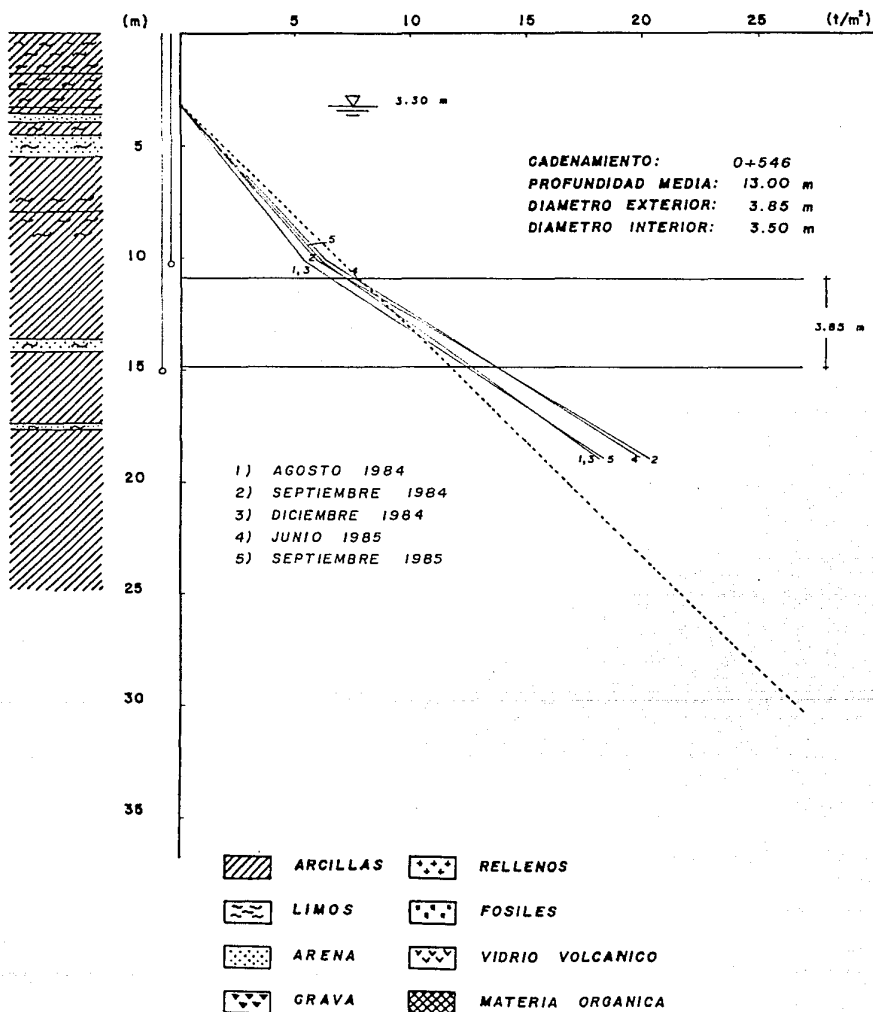


FIG. 36. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-3 SEC-1  
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

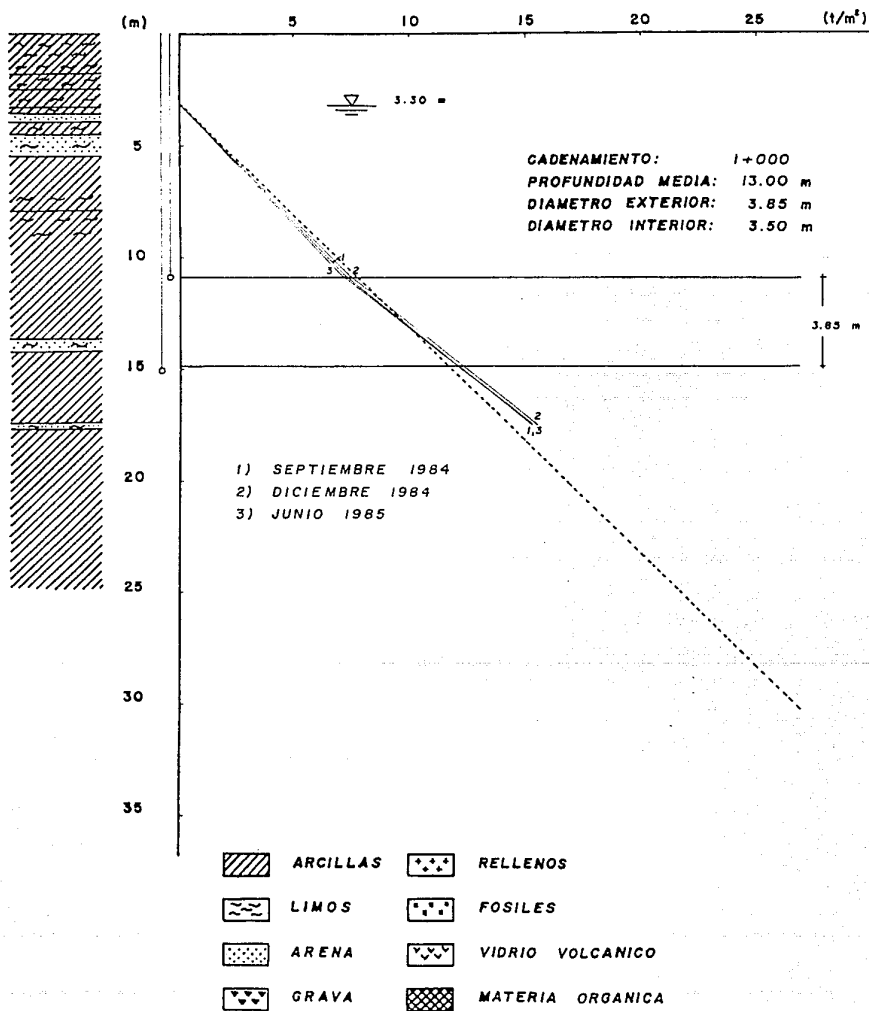


FIG. 37. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-3 SEC-2  
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

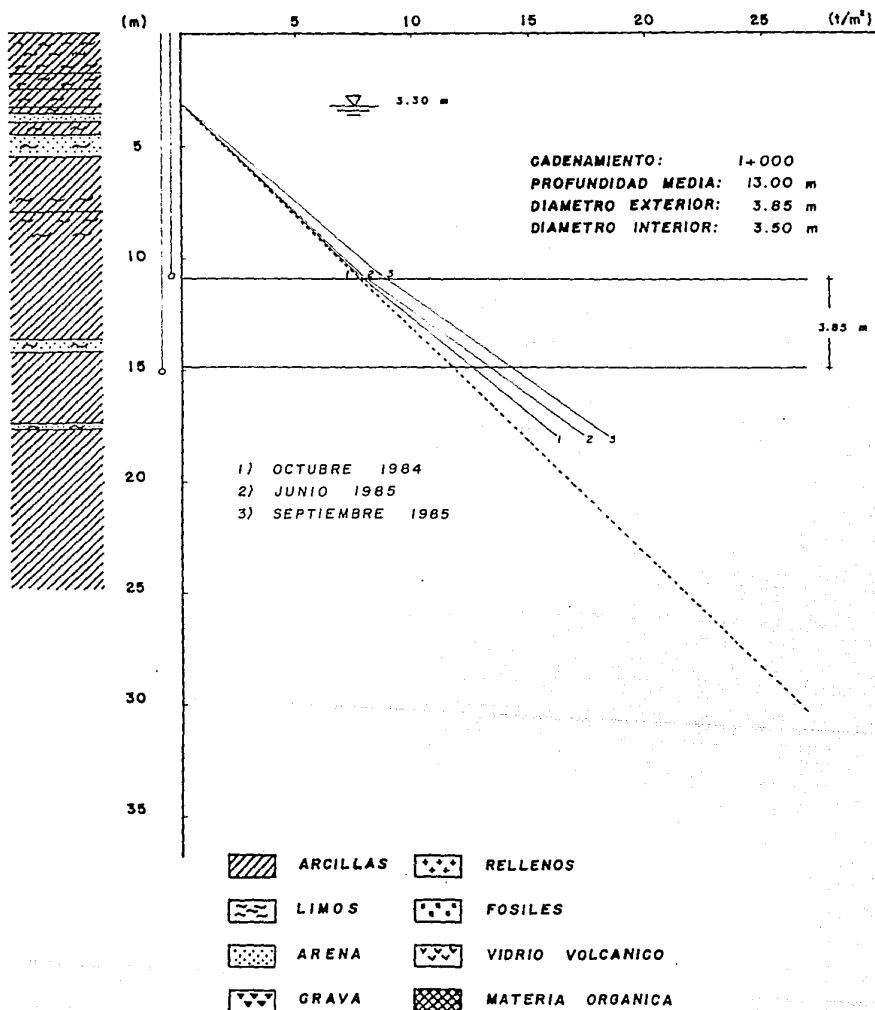


FIG. 38. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-3 SEC-3  
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

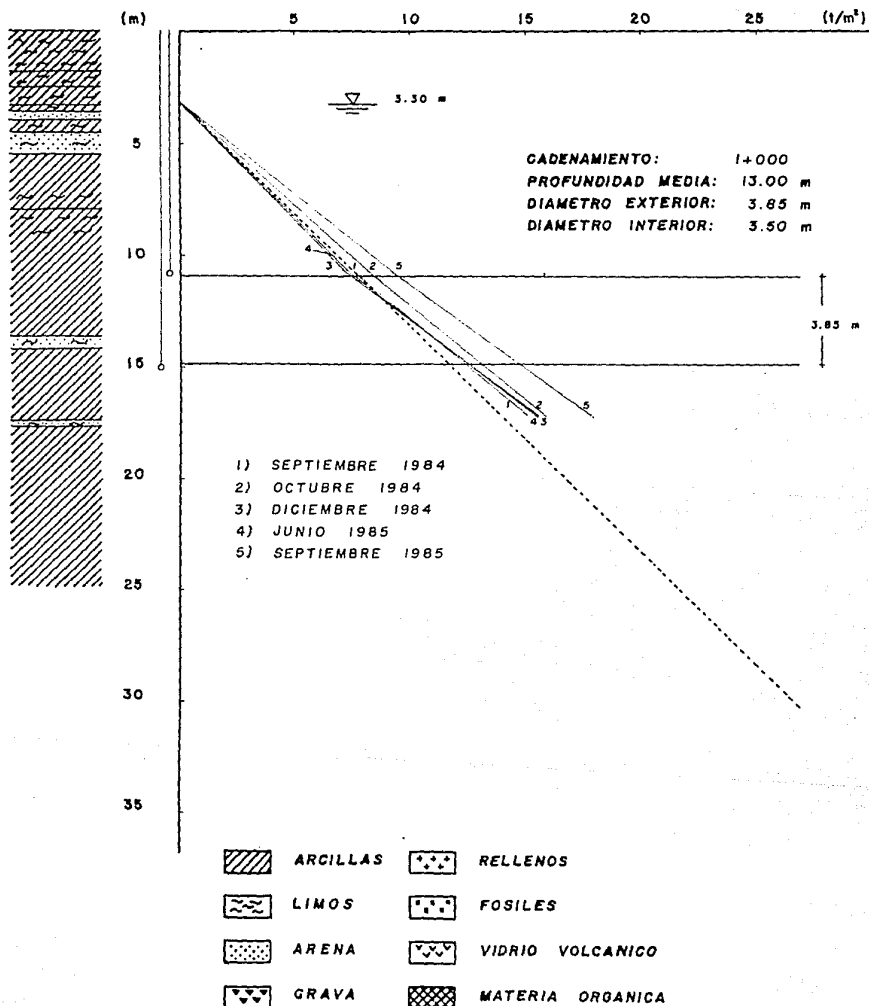




FIG. 39. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-3 SEC-4  
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

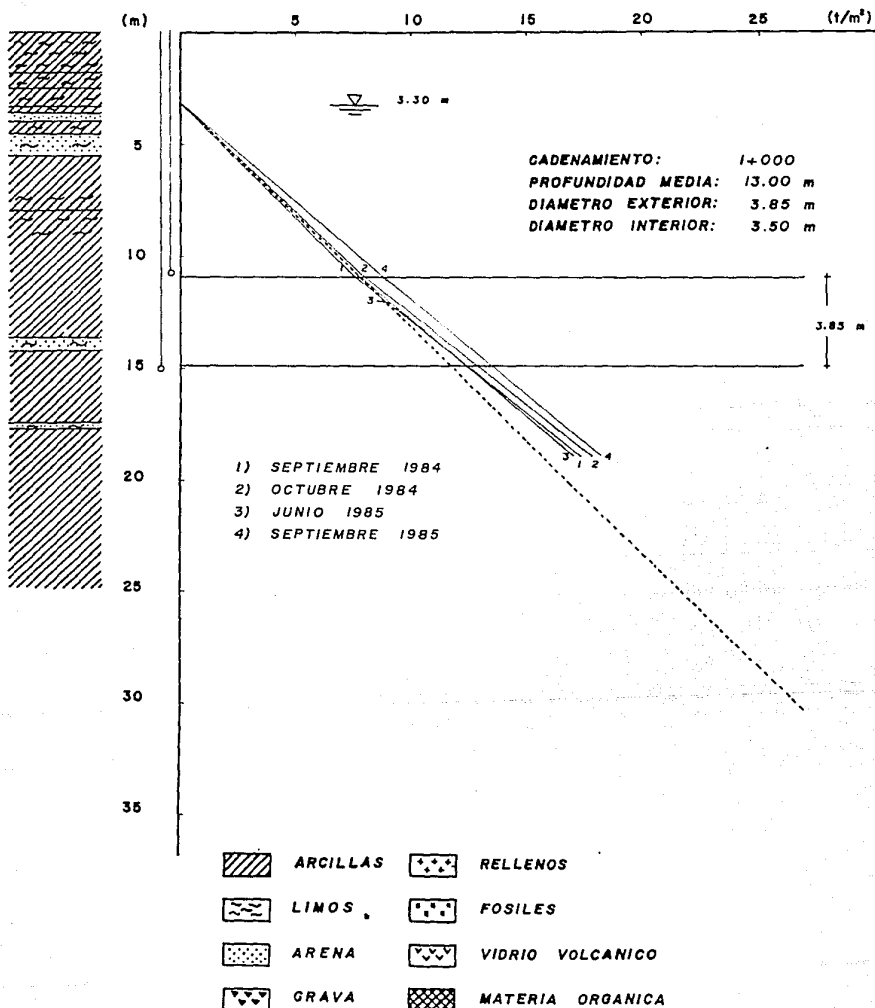


FIG. 40. PRESIONES HIDRAULICAS EN LA ESTACION E-3 SEC-5  
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

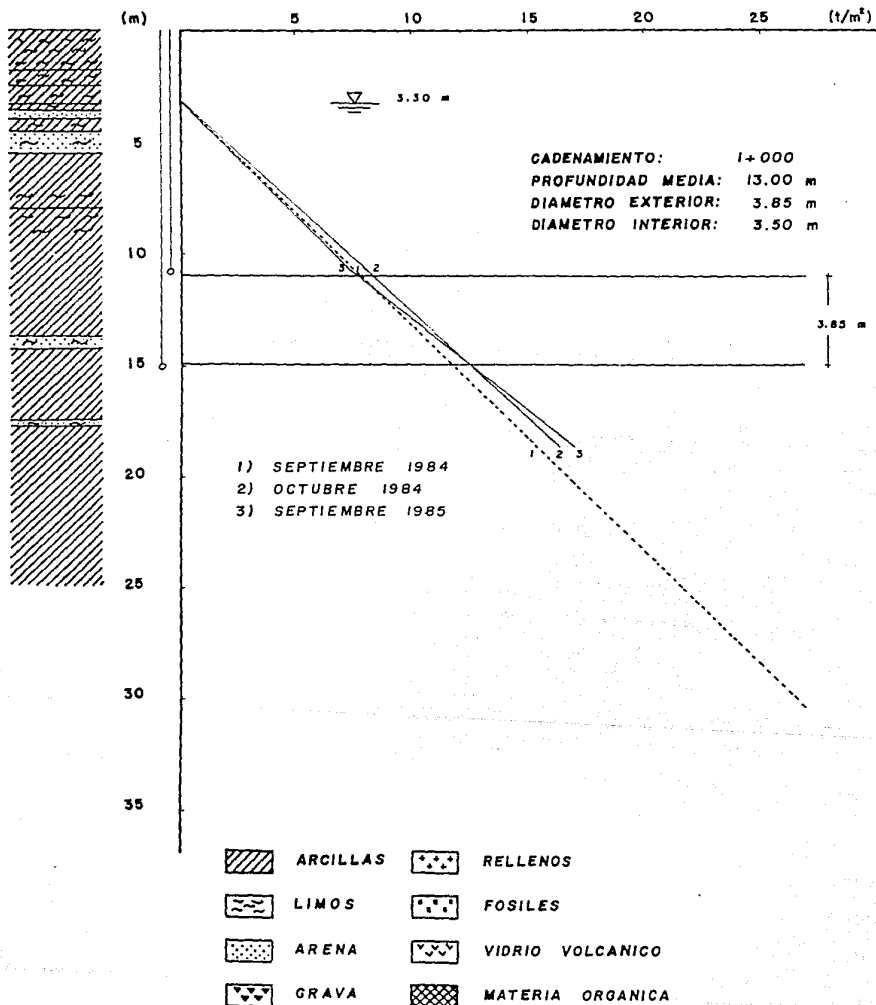


FIG. 41. PRESIONES HIDRAULICAS EN EL POZO 202  
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

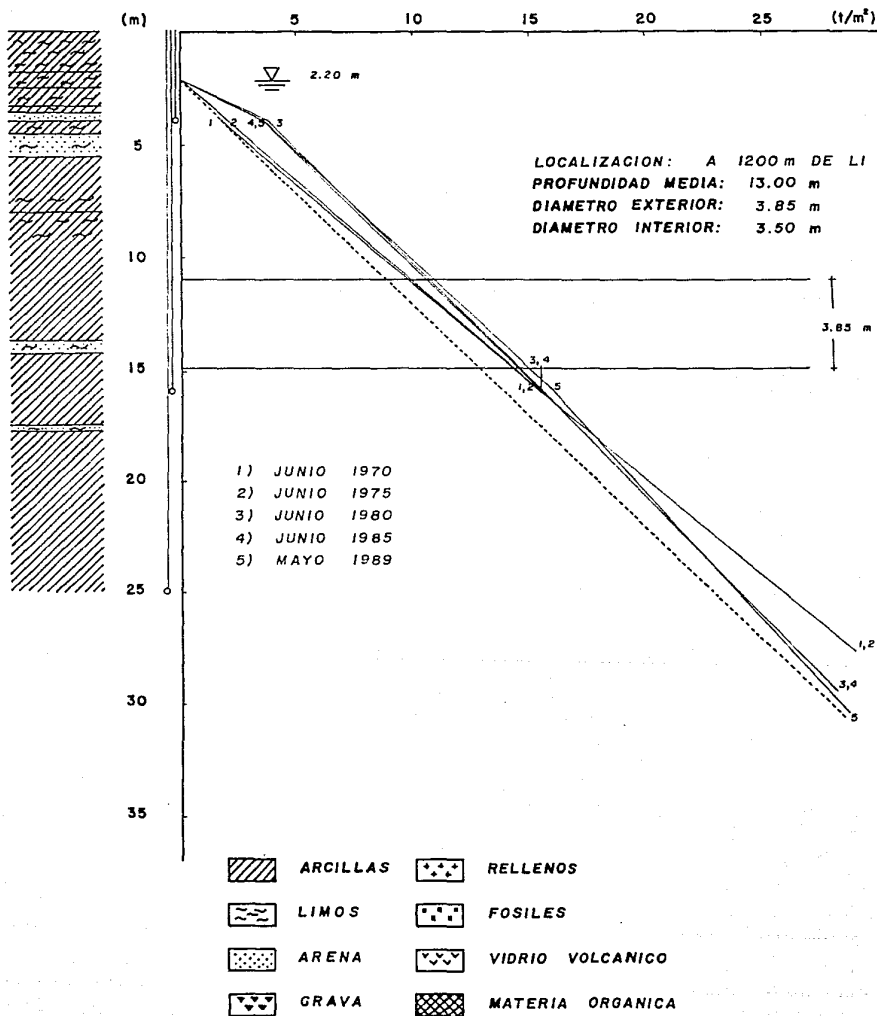
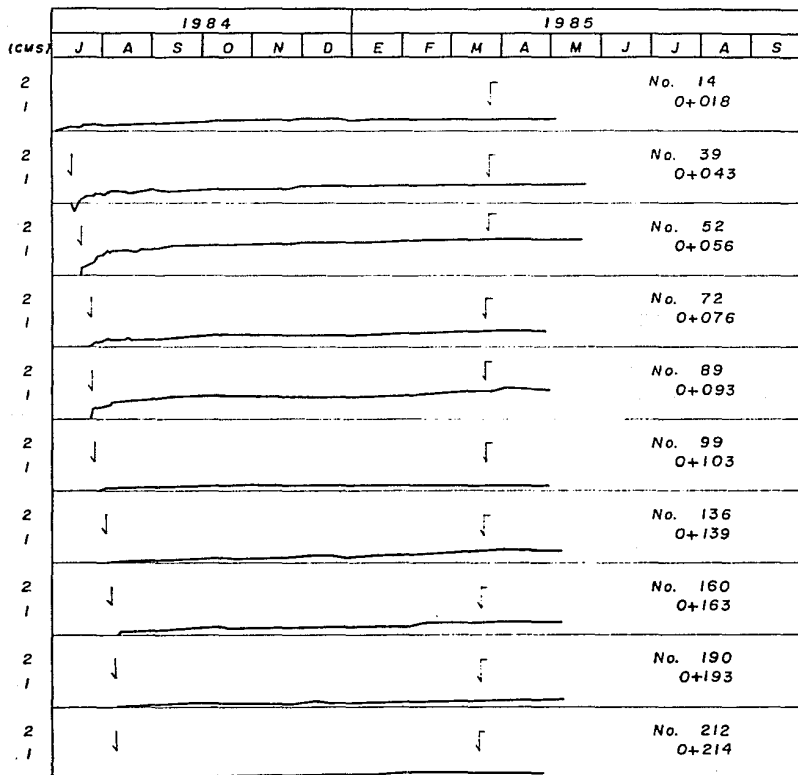
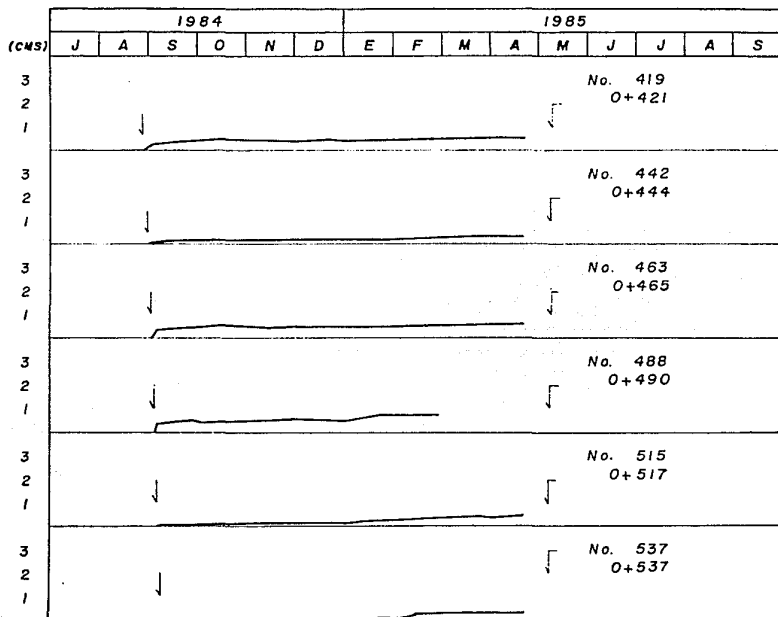


FIG. 42. SECCIONES DE CONVERGENCIA  
 COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA  
 ESTACION E-1 (KM 0+075)



↓ REV. PRIMARIO  
 ⌋ REV. SECUNDARIO

FIG. 43. SECCIONES DE CONVERGENCIA  
 COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA  
 ESTACION E-2 (KM 0+546)



↓ REV. PRIMARIO  
 ⌋ REV. SECUNDARIO

FIG. 44. PRESIONES HIDRAULICAS A LA PROFUNDIDAD MEDIA DEL TUNEL.  
COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

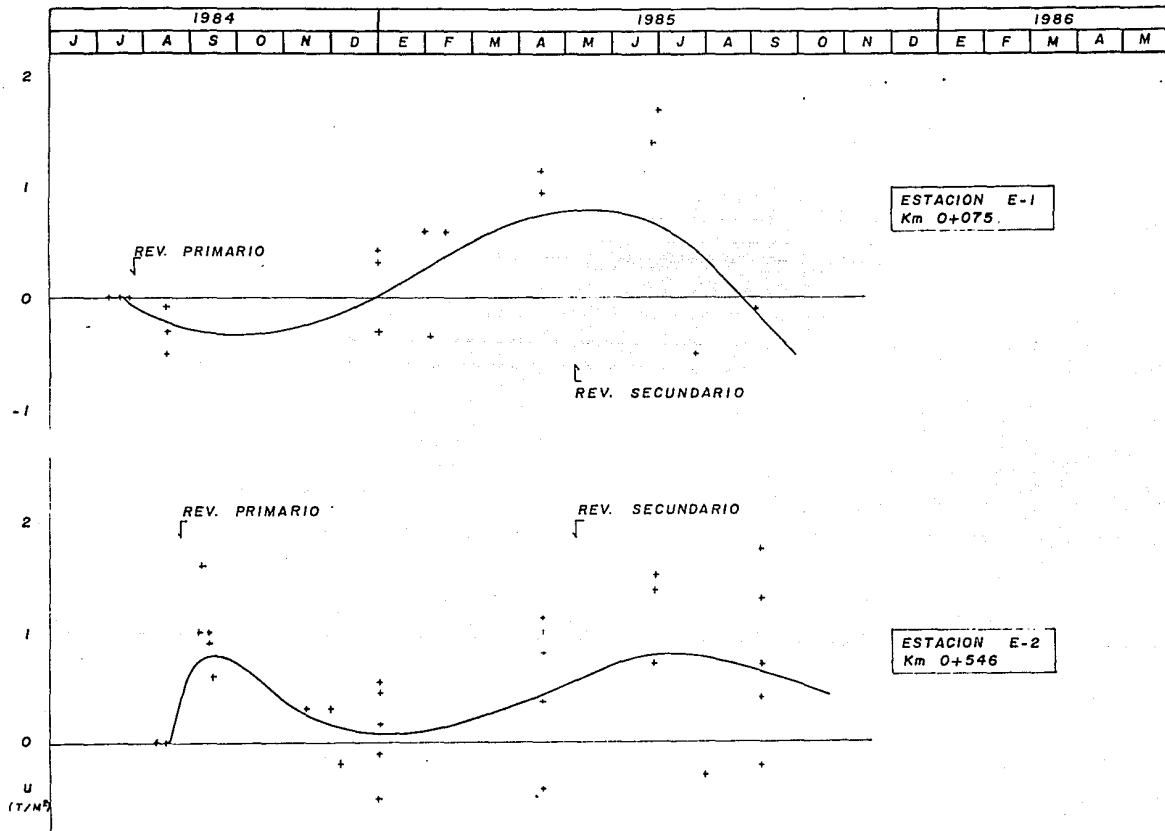


FIG. 45. PRESIONES HIDRAULICAS EN EL POZO 303  
COLECTOR CANAL NACIONAL-CHALCO

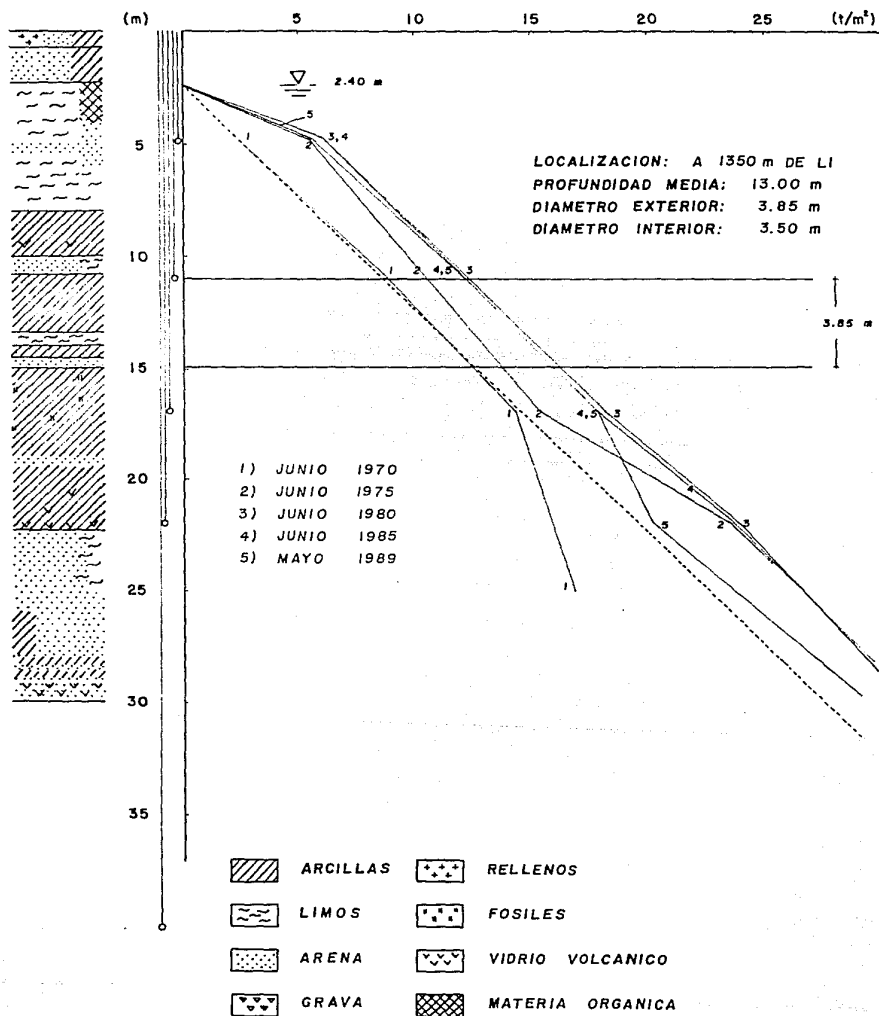


FIG. 46. PRESIONES HIDRAULICAS EN EL POZO 303  
COLECTOR CANAL NACIONAL-CHALCO

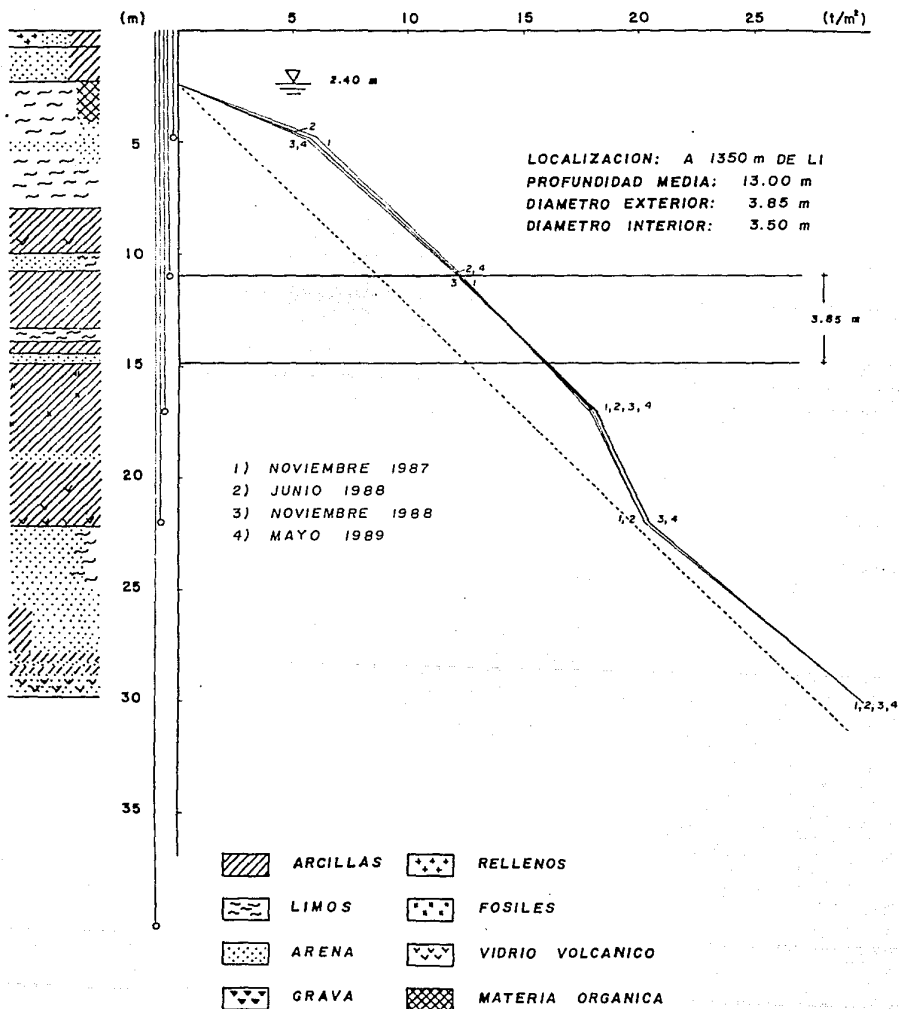




FIG. 47. SECCIONES DE CONVERGENCIA. CANAL NACIONAL-CHALCO.

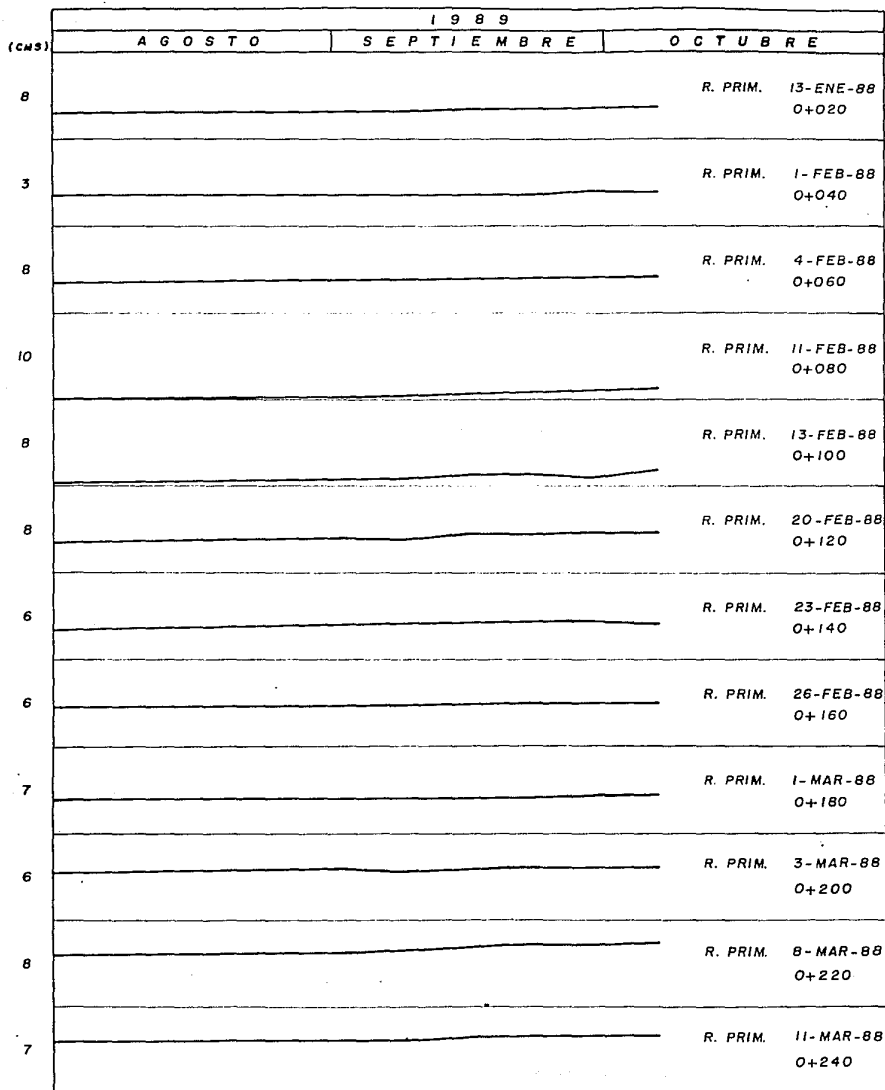
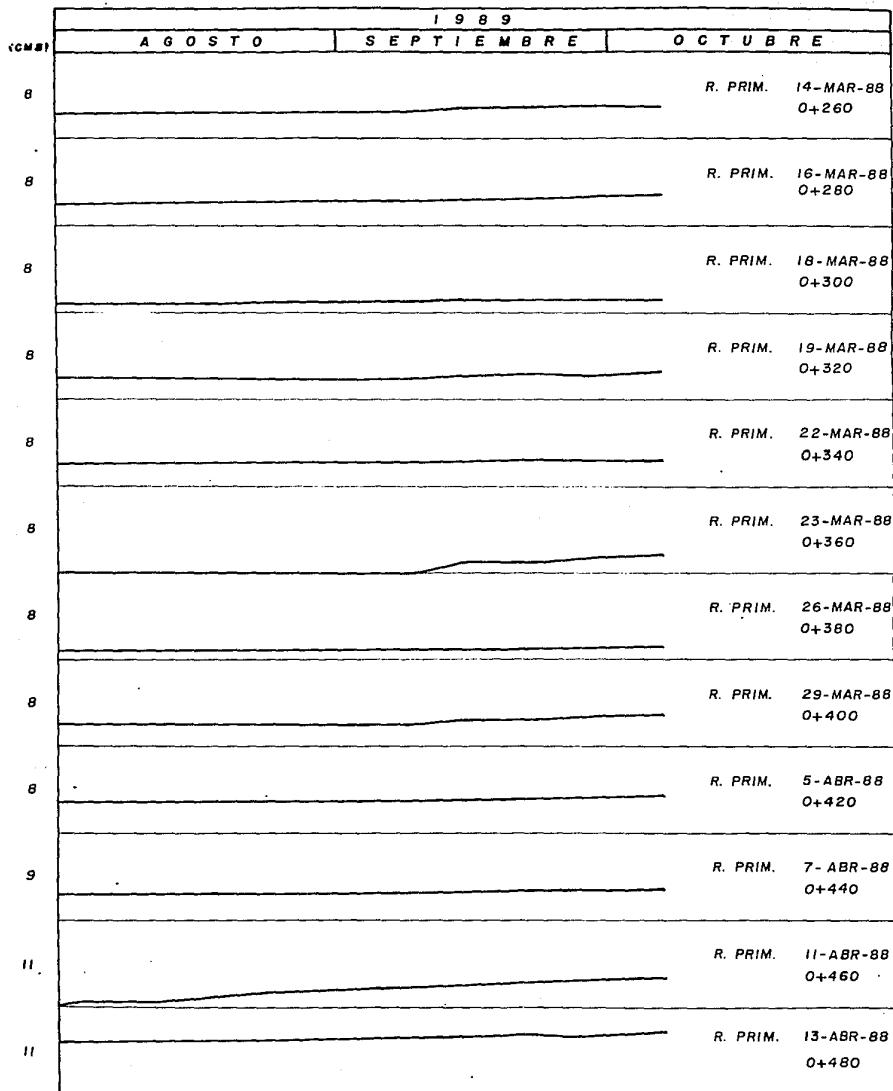


FIG. 47. (CONTINUACION)



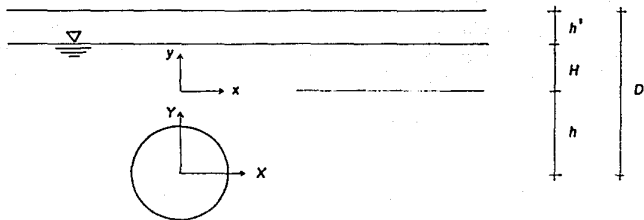


FIG. 48. TRASLACION DE LOS EJES DE REFERENCIA

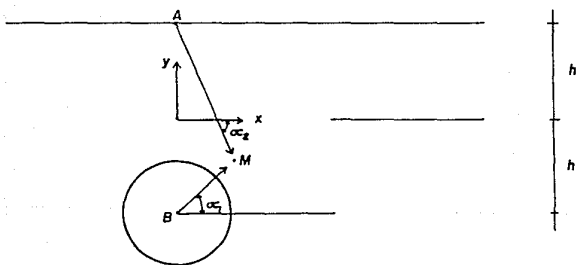


FIG. 49. REPRESENTACION DE LOS ANGULOS  $\alpha_1$  Y  $\alpha_2$

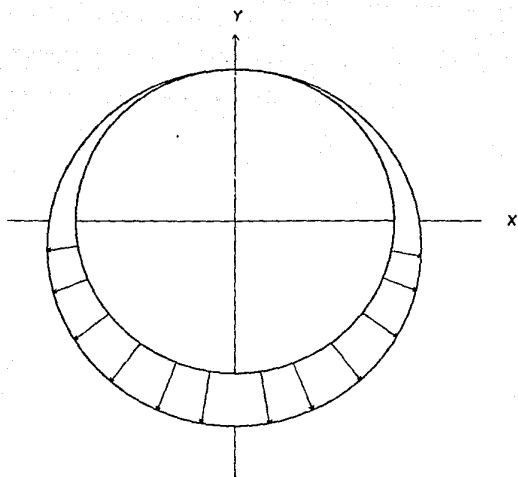


FIG. 50. DISTRIBUCION DE ESFUERZOS DEBIDA A FUERZAS DE FILTRACION

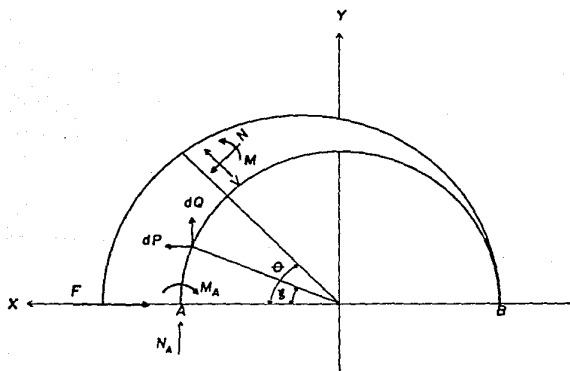


FIG. 51. DETERMINACION DE LOS ELEMENTOS MECANICOS

FIG. 52. DESPLAZAMIENTOS: A) TEORICOS B) EXPERIMENTALES

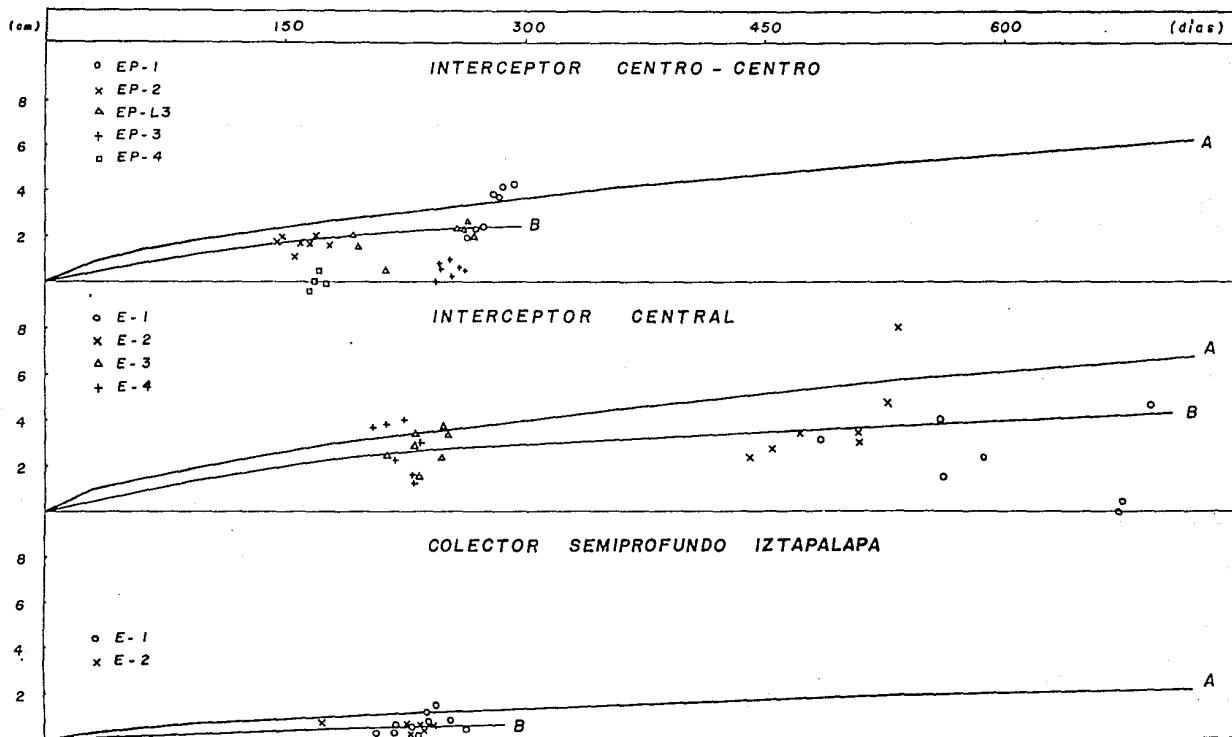


TABLA No. 1

PRESIONES DE INYECCION EN EL INTERCEPTOR CENTRAL  
(kg/cm<sup>2</sup>)

<i>Anillos</i>	<i>Fecha</i>	<i>Presiones de Inyección</i>
259-287	14/20-ene-86	0.5 a 0.7
319-333	28/3-ene/feb-86	0.4 a 1.5
358-399	11/17-feb-86	0.5 a 1.0
445-478	4/10-mar-86	0.3 a 1.0
480-511	11/17-mar-86	0.4 a 1.2
512-541	18/24-mar-86	0.4 a 1.2
558-590	1/7-abr-86	0.5 a 1.5
591-624	8/14-abr-86	0.3 a 1.3
625-659	15/21-abr-86	0.5 a 1.0
660-691	22/28-abr-86	0.5 a 1.0
692-720	29/5-abr/may-86	0.3 a 1.0
1079-1112	1/13-oct-86	0.5 a 1.0
1141-1171	21/27-oct-86	0.1 a 1.5
1172-1207	28/3-oct/nov-86	0.1 a 1.5
1208-1243	4/10-nov-86	0.1 a 1.5
1244-1277	11/17-nov-86	0.1 a 1.5
1278-1305	18/24-nov-86	0.2 a 1.5
1306-1338	25/1-nov/dic-86	0.2 a 1.7
1376-1407	9/15-dic-86	0.0 a 1.8
1408-1441	16/22-dic-86	0.2 a 1.5

**TABLA No. 2**

**PRESION EN LA CAMARA DE TRABAJO DEL INTERCEPTOR CENTRAL**  
**(kg/cm<sup>2</sup>)**

<i>Fecha</i>	<i>Presiones en la esclusa</i>
17-mar-86	1.2 a 1.1
22-mar-86	1.1 a 1.0
24-mar-86	1.0 a 0.9
2-jun-86	0.8
3-jun-86	0.6
4-jun-86	0.0
28-jul-86	0.9
4-ago-86	1.1
8-ago-86	1.0
14-nov-86	1.0
19-dic-86	1.0
27-feb-87	1.0
3-mar-87	0.7
5-mar-87	0.0

TABLA No. 3

FACTORES CONSTRUCTIVOS EN EL INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO

Anillo	Presión de Inyección (kg/cm <sup>2</sup> )	Presión Frontal (kg/cm <sup>2</sup> )	Velocidad de empuje (cms/min)
427	2.06-1.82	1.82	4.5-5.0
455	2.03	1.68-1.78	5.0
484	2.03	1.75	6.0-3.0
524	1.82-1.50	1.56	4.5-5.0
563	2.03	1.82	5.5
597	2.03	1.82	5.5
627	2.03-1.19	1.82	4.0-4.5
1060	2.00	1.75	3.12
1085	1.88-2.00	1.75-1.94	4.00
1104	1.00-1.53	1.75-1.62	3.50
1122	1.80-1.62	1.56	5.50
1130	2.03	1.75	5.5-4.5
1154	2.00	1.82	4.0
1179	1.98	2.25-1.80	5.5
1	-.-	0.90	0.6
10	2.40-1.50	2.30-1.70	2.6-4.6
12	2.00	1.70-1.80	5.0-0.2
25	2.00-1.20	1.80-1.70	4.6-5.0
39	1.50-1.00	1.80	5.0
42	0.50-0.90	1.80	5.0
53	2.00	1.70	5.0-4.8
254	1.50-2.00	1.80	4.2
282	1.90-1.50	1.85	5.0
302	1.70-2.00	2.00	5.0-4.5
326	2.00	1.80	5.5
354	1.70-1.60	1.85	5.0-4.9
383	1.88-1.62	1.83	5.2
403	1.69-1.50	2.03	5.0
754	2.06-1.93	1.93	5.00
786	2.00	2.00	5.00
804	2.00-1.65	2.00	5.0-4.8
831	1.70	2.00	5.50



TABLA No. 4

DETERMINACION DE LOS PARAMETROS  $h$  Y  $B'_d$

INTERCEPTOR CENTRAL

$t$ (días)	$h$ (mts)	$B'_d$
0	3.050	8.375
30	3.474	7.404
60	3.650	7.080
90	3.785	6.851
180	4.089	6.419
360	4.520	5.907
540	4.850	5.597
720	5.128	5.367

INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO

0	3.050	7.811
30	3.474	6.897
60	3.650	6.594
90	3.785	6.386
180	4.089	5.978
360	4.520	5.512
540	4.850	5.220
720	5.128	5.008

COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

0	1.925	4.616
30	2.349	3.830
60	2.525	3.598
90	2.660	3.445
180	2.964	3.161
360	3.395	2.859
540	3.725	2.681
720	4.003	2.556

TABLA No. 5

ESFUERZOS  $\bar{\sigma}_x$  INTERCEPTOR CENTRAL  
( $t/m^2$ )

X (m)	Y (m)	0	30	60	90	180	360	540	720
		( d i a s )							
0.00	-3.05	-1.97	-2.71	-3.03	-3.26	-3.80	-4.56	-5.13	-5.62
0.27	-3.04	-1.89	-2.64	-2.96	-3.20	-3.74	-4.49	-5.07	-5.55
0.53	-3.00	-1.65	-2.43	-2.75	-2.99	-3.54	-4.29	-4.87	-5.34
0.79	-2.95	-1.26	-2.09	-2.41	-2.66	-3.21	-3.96	-4.53	-5.01
1.04	-2.87	-0.73	-1.61	-1.95	-2.20	-2.76	-3.51	-4.08	-4.55
1.29	-2.76	-0.07	-1.02	-1.37	-1.63	-2.19	-2.95	-3.51	-3.97
1.53	-2.64	0.70	-0.33	-0.69	-0.96	-1.52	-2.28	-2.83	-3.28
1.75	-2.50	1.56	0.45	0.07	-0.20	-0.77	-1.51	-2.05	-2.50
1.96	-2.34	2.49	1.30	0.91	0.64	0.06	-0.67	-1.20	-1.63
2.16	-2.16	3.45	2.20	1.80	1.52	0.95	0.23	-0.28	-0.69
2.34	-1.96	4.44	3.13	2.73	2.45	1.88	1.19	0.70	0.31
2.50	-1.75	5.41	4.07	3.67	3.39	2.84	2.17	1.71	1.35
2.64	-1.53	6.36	5.01	4.61	4.34	3.81	3.18	2.75	2.41
2.76	-1.29	7.24	5.91	5.53	5.27	4.77	4.18	3.79	3.48
2.87	-1.04	8.05	6.77	6.41	6.17	5.71	5.17	4.82	4.55
2.95	-0.79	8.75	7.57	7.24	7.02	6.61	6.14	5.84	5.61
3.00	-0.53	9.33	8.29	8.00	7.81	7.46	7.06	6.82	6.63
3.04	-0.27	9.79	8.93	8.69	8.54	8.25	7.94	7.75	7.61
3.05	0.00	10.10	9.47	9.29	9.18	8.97	8.76	8.63	8.55
3.04	0.27	10.25	9.90	9.80	9.73	9.62	9.51	9.45	9.42
3.00	0.53	10.26	10.23	10.21	10.20	10.18	10.19	10.21	10.23
2.95	0.79	10.11	10.45	10.52	10.57	10.66	10.79	10.89	10.98
2.87	1.04	9.81	10.57	10.74	10.85	11.06	11.32	11.50	11.65
2.76	1.29	9.37	10.59	10.87	11.05	11.38	11.77	12.04	12.25
2.64	1.53	8.79	10.52	10.91	11.16	11.63	12.15	12.50	12.78
2.50	1.75	8.10	10.36	10.88	11.21	11.80	12.47	12.90	13.24
2.34	1.96	7.31	10.14	10.79	11.19	11.92	12.72	13.24	13.64
2.16	2.16	6.45	9.87	10.64	11.11	11.97	12.91	13.51	13.97
1.96	2.34	5.52	9.55	10.45	11.00	11.99	13.06	13.74	14.25
1.75	2.50	4.56	9.22	10.24	10.86	11.97	13.16	13.91	14.48
1.53	2.64	3.60	8.88	10.01	10.71	11.93	13.23	14.05	14.66
1.29	2.76	2.67	8.55	9.79	10.55	11.88	13.27	14.15	14.81
1.04	2.87	1.81	8.26	9.59	10.40	11.82	13.30	14.22	14.92
0.79	2.95	1.07	8.01	9.42	10.27	11.76	13.31	14.27	15.00
0.53	3.00	0.49	7.83	9.29	10.18	11.72	13.32	14.31	15.05
0.27	3.04	0.13	7.71	9.21	10.12	11.69	13.32	14.33	15.08
0.00	3.05	0.00	7.67	9.19	10.10	11.68	13.32	14.33	15.09

TABLA No. 6

ESFUERZOS  $\bar{\sigma}_y$ . INTERCEPTOR CENTRAL  
( $t/m^2$ )

X (m)	Y (m)	0	30	60	90	180	360	540	720
		( d i a s )							
0.00	-3.05	20.38	19.18	19.05	19.01	19.10	19.43	19.79	20.13
0.27	-3.04	20.28	19.10	18.97	18.94	19.02	19.36	19.72	20.06
0.53	-3.00	20.00	18.87	18.74	18.71	18.81	19.15	19.51	19.84
0.79	-2.95	19.54	18.47	18.36	18.35	18.45	18.80	19.16	19.49
1.04	-2.87	18.91	17.94	17.85	17.84	17.96	18.32	18.67	19.01
1.29	-2.76	18.12	17.27	17.20	17.20	17.34	17.71	18.07	18.40
1.53	-2.64	17.20	16.48	16.43	16.45	16.61	16.99	17.35	17.67
1.75	-2.50	16.15	15.58	15.57	15.60	15.78	16.17	16.52	16.84
1.96	-2.34	15.01	14.59	14.61	14.67	14.87	15.26	15.61	15.92
2.16	-2.16	13.79	13.54	13.59	13.66	13.88	14.28	14.62	14.93
2.34	-1.96	12.52	12.43	12.51	12.60	12.84	13.24	13.58	13.87
2.50	-1.75	11.24	11.30	11.41	11.51	11.76	12.17	12.49	12.76
2.64	-1.53	9.95	10.15	10.29	10.40	10.67	11.06	11.37	11.63
2.76	-1.29	8.68	9.02	9.17	9.29	9.57	9.95	10.24	10.47
2.87	-1.04	7.47	7.91	8.08	8.20	8.48	8.84	9.10	9.32
2.95	-0.79	6.31	6.84	7.02	7.15	7.42	7.75	7.99	8.17
3.00	-0.53	5.24	5.83	6.01	6.14	6.40	6.70	6.90	7.06
3.04	-0.27	4.26	4.88	5.07	5.19	5.43	5.69	5.85	5.97
3.05	0.00	3.39	4.02	4.20	4.31	4.52	4.73	4.85	4.94
3.04	0.27	2.63	3.24	3.40	3.50	3.68	3.83	3.91	3.96
3.00	0.53	1.98	2.55	2.69	2.77	2.91	3.01	3.04	3.04
2.95	0.79	1.44	1.95	2.06	2.13	2.22	2.25	2.23	2.19
2.87	1.04	1.00	1.44	1.52	1.57	1.60	1.56	1.49	1.41
2.76	1.29	0.66	1.01	1.07	1.08	1.07	0.95	0.82	0.70
2.64	1.53	0.41	0.66	0.68	0.68	0.61	0.42	0.23	0.06
2.50	1.75	0.24	0.39	0.38	0.34	0.21	-0.05	-0.29	-0.51
2.34	1.96	0.12	0.18	0.13	0.07	-0.11	-0.45	-0.74	-1.01
2.16	2.16	0.05	0.03	-0.05	-0.14	-0.38	-0.79	-1.13	-1.44
1.96	2.34	0.02	-0.08	-0.19	-0.30	-0.59	-1.07	-1.47	-1.81
1.75	2.50	0.00	-0.15	-0.29	-0.42	-0.76	-1.30	-1.74	-2.12
1.53	2.64	0.00	-0.20	-0.36	-0.51	-0.89	-1.49	-1.97	-2.38
1.29	2.76	0.00	-0.22	-0.40	-0.57	-0.98	-1.63	-2.15	-2.59
1.04	2.87	0.00	-0.23	-0.43	-0.61	-1.05	-1.74	-2.29	-2.76
0.79	2.95	0.00	-0.23	-0.44	-0.63	-1.10	-1.82	-2.40	-2.88
0.53	3.00	0.00	-0.23	-0.45	-0.65	-1.13	-1.88	-2.47	-2.97
0.27	3.04	0.00	-0.23	-0.46	-0.65	-1.15	-1.91	-2.51	-3.02
0.00	3.05	0.00	-0.23	-0.46	-0.66	-1.16	-1.92	-2.53	-3.04



TABLA No. 8

ESFUERZOS  $\sigma_r$ . INTERCEPTOR CENTRAL  
( $t/m^2$ )

X (m)	Y (m)	0	30	60	90	180	360	540	720
		( d i a s )							
0.00	-3.05	20.38	19.18	19.05	19.01	19.10	19.43	19.79	20.13
0.27	-3.04	20.34	19.15	19.01	18.98	19.06	19.39	19.75	20.09
0.53	-3.00	20.23	19.04	18.90	18.86	18.94	19.27	19.62	19.95
0.79	-2.95	20.04	18.86	18.72	18.68	18.75	19.07	19.41	19.74
1.04	-2.87	19.78	18.61	18.46	18.42	18.49	18.79	19.12	19.43
1.29	-2.76	19.45	18.28	18.14	18.10	18.15	18.44	18.75	19.05
1.53	-2.64	19.04	17.90	17.75	17.70	17.75	18.01	18.30	18.58
1.75	-2.50	18.57	17.45	17.30	17.25	17.27	17.51	17.78	18.04
1.96	-2.34	18.04	16.93	16.78	16.73	16.74	16.94	17.18	17.42
2.16	-2.16	17.44	16.37	16.21	16.15	16.14	16.31	16.53	16.74
2.34	-1.96	16.79	15.74	15.58	15.52	15.49	15.63	15.81	16.00
2.50	-1.75	16.09	15.07	14.91	14.84	14.79	14.89	15.04	15.19
2.64	-1.53	15.34	14.36	14.19	14.11	14.04	14.10	14.22	14.34
2.76	-1.29	14.54	13.61	13.44	13.35	13.26	13.27	13.35	13.45
2.87	-1.04	13.70	12.82	12.65	12.56	12.44	12.41	12.45	12.51
2.95	-0.79	12.84	12.01	11.83	11.74	11.60	11.52	11.52	11.55
3.00	-0.53	11.94	11.18	11.00	10.90	10.73	10.61	10.57	10.56
3.04	-0.27	11.03	10.33	10.15	10.04	9.86	9.69	9.61	9.56
3.05	0.00	10.10	9.47	9.29	9.18	8.97	8.76	8.63	8.55
3.04	0.27	9.16	8.61	8.43	8.31	8.08	7.82	7.66	7.54
3.00	0.53	8.22	7.75	7.58	7.46	7.20	6.90	6.69	6.53
2.95	0.79	7.28	6.91	6.74	6.61	6.34	5.99	5.74	5.55
2.87	1.04	6.36	6.08	5.92	5.78	5.49	5.10	4.81	4.58
2.76	1.29	5.47	5.28	5.12	4.98	4.67	4.23	3.91	3.65
2.64	1.53	4.60	4.52	4.36	4.22	3.88	3.41	3.05	2.75
2.50	1.75	3.78	3.79	3.63	3.49	3.14	2.62	2.23	1.90
2.34	1.96	3.01	3.11	2.95	2.80	2.43	1.88	1.45	1.10
2.16	2.16	2.31	2.48	2.32	2.17	1.78	1.19	0.74	0.35
1.96	2.34	1.69	1.91	1.75	1.59	1.19	0.56	0.08	-0.33
1.75	2.50	1.16	1.41	1.24	1.08	0.65	0.00	-0.51	-0.95
1.53	2.64	0.73	0.97	0.79	0.62	0.18	-0.50	-1.04	-1.49
1.29	2.76	0.41	0.59	0.41	0.23	-0.22	-0.93	-1.48	-1.95
1.04	2.87	0.19	0.29	0.10	-0.09	-0.56	-1.28	-1.86	-2.34
0.79	2.95	0.07	0.06	-0.14	-0.33	-0.82	-1.56	-2.15	-2.64
0.53	3.00	0.01	-0.10	-0.32	-0.51	-1.01	-1.76	-2.36	-2.86
0.27	3.04	0.00	-0.20	-0.42	-0.62	-1.12	-1.88	-2.48	-2.99
0.00	3.05	0.00	-0.23	-0.46	-0.66	-1.16	-1.92	-2.53	-3.04



TABLA No. 10

ESFUERZOS  $\bar{\sigma}_x$ . INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO  
( $t/m^2$ )

X (m)	Y (m)	0	30	60	90 ( d i a s )	180	360	540	720
0.00	-3.05	-1.83	-2.53	-2.82	-3.04	-3.55	-4.25	-4.79	-5.23
0.27	-3.04	-1.76	-2.46	-2.76	-2.98	-3.48	-4.19	-4.72	-5.17
0.53	-3.00	-1.54	-2.27	-2.56	-2.79	-3.30	-4.00	-4.54	-4.98
0.79	-2.95	-1.17	-1.94	-2.25	-2.48	-2.99	-3.70	-4.23	-4.67
1.04	-2.87	-0.68	-1.50	-1.82	-2.05	-2.57	-3.28	-3.80	-4.24
1.29	-2.76	-0.06	-0.95	-1.28	-1.52	-2.04	-2.75	-3.27	-3.70
1.53	-2.64	0.65	-0.31	-0.65	-0.89	-1.42	-2.12	-2.64	-3.06
1.75	-2.50	1.45	0.42	0.07	-0.18	-0.72	-1.41	-1.92	-2.33
1.96	-2.34	2.32	1.21	0.85	0.59	0.06	-0.63	-1.12	-1.52
2.16	-2.16	3.22	2.05	1.68	1.42	0.89	0.22	-0.26	-0.64
2.34	-1.96	4.14	2.92	2.54	2.28	1.76	1.11	0.65	0.29
2.50	-1.75	5.05	3.80	3.42	3.16	2.65	2.03	1.60	1.26
2.64	-1.53	5.93	4.67	4.30	4.05	3.55	2.96	2.56	2.25
2.76	-1.29	6.75	5.51	5.15	4.91	4.45	3.90	3.53	3.25
2.87	-1.04	7.50	6.31	5.98	5.75	5.32	4.82	4.50	4.25
2.95	-0.79	8.16	7.06	6.75	6.55	6.16	5.72	5.44	5.23
3.00	-0.53	8.70	7.73	7.46	7.29	6.95	6.59	6.35	6.18
3.04	-0.27	9.12	8.32	8.10	7.96	7.69	7.40	7.23	7.10
3.05	0.00	9.41	8.83	8.66	8.56	8.36	8.16	8.05	7.97
3.04	0.27	9.56	9.23	9.13	9.07	8.96	8.86	8.81	8.78
3.00	0.53	9.56	9.54	9.52	9.51	9.49	9.49	9.51	9.54
2.95	0.79	9.42	9.74	9.81	9.85	9.94	10.06	10.15	10.23
2.87	1.04	9.14	9.85	10.01	10.12	10.31	10.55	10.72	10.86
2.76	1.29	8.73	9.87	10.13	10.30	10.61	10.97	11.22	11.42
2.64	1.53	8.20	9.80	10.17	10.41	10.84	11.33	11.66	11.92
2.50	1.75	7.55	9.66	10.14	10.45	11.00	11.62	12.03	12.35
2.34	1.96	6.82	9.45	10.05	10.43	11.11	11.85	12.34	12.71
2.16	2.16	6.01	9.20	9.92	10.36	11.16	12.04	12.60	13.03
1.96	2.34	5.15	8.90	9.74	10.26	11.18	12.17	12.80	13.29
1.75	2.50	4.25	8.59	9.54	10.12	11.16	12.27	12.97	13.50
1.53	2.64	3.36	8.28	9.33	9.98	11.12	12.33	13.09	13.67
1.29	2.76	2.49	7.97	9.13	9.83	11.07	12.37	13.19	13.80
1.04	2.87	1.69	7.70	8.94	9.70	11.02	12.40	13.26	13.91
0.79	2.95	1.00	7.47	8.79	9.58	10.96	12.41	13.31	13.98
0.53	3.00	0.46	7.29	8.66	9.49	10.92	12.41	13.34	14.03
0.27	3.04	0.12	7.19	8.59	9.43	10.90	12.42	13.36	14.06
0.00	3.05	0.00	7.15	8.56	9.41	10.89	12.42	13.36	14.07

TABLA No. 11

ESFUERZOS  $\bar{\sigma}_y$ . INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO  
( $t/m^2$ )

X (m)	Y (m)	0	30	60	90	180	360	540	720
		( d i a s )							
0.00	-3.05	19.00	17.88	17.75	17.72	17.80	18.12	18.45	18.76
0.27	-3.04	18.91	17.81	17.68	17.65	17.73	18.05	18.38	18.70
0.53	-3.00	18.65	17.59	17.47	17.45	17.53	17.85	18.18	18.50
0.79	-2.95	18.22	17.22	17.12	17.10	17.20	17.52	17.86	18.17
1.04	-2.87	17.63	16.72	16.64	16.63	16.74	17.07	17.41	17.72
1.29	-2.76	16.89	16.10	16.03	16.04	16.17	16.51	16.84	17.15
1.53	-2.64	16.03	15.36	15.32	15.34	15.49	15.84	16.17	16.47
1.75	-2.50	15.05	14.52	14.51	14.55	14.71	15.07	15.40	15.70
1.96	-2.34	13.99	13.60	13.62	13.67	13.86	14.23	14.55	14.84
2.16	-2.16	12.85	12.62	12.67	12.73	12.94	13.31	13.63	13.91
2.34	-1.96	11.68	11.59	11.67	11.74	11.97	12.35	12.66	12.93
2.50	-1.75	10.47	10.53	10.63	10.73	10.97	11.34	11.64	11.90
2.64	-1.53	9.27	9.46	9.59	9.69	9.94	10.31	10.60	10.84
2.76	-1.29	8.10	8.40	8.55	8.66	8.92	9.27	9.54	9.76
2.87	-1.04	6.96	7.37	7.53	7.65	7.90	8.24	8.49	8.69
2.95	-0.79	5.89	6.37	6.54	6.66	6.91	7.23	7.45	7.62
3.00	-0.53	4.89	5.43	5.61	5.72	5.96	6.25	6.43	6.58
3.04	-0.27	3.98	4.55	4.72	4.84	5.06	5.30	5.46	5.57
3.05	0.00	3.16	3.75	3.91	4.02	4.21	4.41	4.53	4.60
3.04	0.27	2.45	3.02	3.17	3.26	3.43	3.57	3.65	3.69
3.00	0.53	1.84	2.38	2.51	2.59	2.71	2.80	2.83	2.83
2.95	0.79	1.34	1.82	1.92	1.98	2.07	2.10	2.08	2.04
2.87	1.04	0.93	1.34	1.42	1.46	1.49	1.46	1.39	1.31
2.76	1.29	0.62	0.94	0.99	1.01	0.99	0.89	0.77	0.65
2.64	1.53	0.39	0.62	0.64	0.63	0.56	0.39	0.22	0.06
2.50	1.75	0.22	0.36	0.35	0.32	0.20	-0.05	-0.27	-0.47
2.34	1.96	0.11	0.17	0.12	0.07	-0.10	-0.42	-0.69	-0.94
2.16	2.16	0.05	0.03	-0.05	-0.13	-0.35	-0.74	-1.06	-1.34
1.96	2.34	0.02	-0.08	-0.18	-0.28	-0.55	-1.00	-1.37	-1.69
1.75	2.50	0.00	-0.14	-0.27	-0.39	-0.71	-1.21	-1.62	-1.98
1.53	2.64	0.00	-0.18	-0.34	-0.47	-0.83	-1.39	-1.83	-2.22
1.29	2.76	0.00	-0.21	-0.38	-0.53	-0.92	-1.52	-2.00	-2.41
1.04	2.87	0.00	-0.22	-0.40	-0.57	-0.98	-1.62	-2.14	-2.57
0.79	2.95	0.00	-0.22	-0.41	-0.59	-1.03	-1.70	-2.23	-2.69
0.53	3.00	0.00	-0.22	-0.42	-0.60	-1.06	-1.75	-2.30	-2.77
0.27	3.04	0.00	-0.22	-0.42	-0.61	-1.07	-1.78	-2.34	-2.81
0.00	3.05	0.00	-0.22	-0.43	-0.61	-1.08	-1.79	-2.35	-2.83





TABLA No. 13

ESFUERZOS  $\sigma_r$ , INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO  
( $t/m^2$ )

X (m)	Y (m)	0	30	60	90	180	360	540	720
		( d i a s )							
0.00	-3.05	19.00	17.88	17.75	17.72	17.80	18.12	18.45	18.76
0.27	-3.04	18.96	17.85	17.72	17.69	17.77	18.08	18.41	18.72
0.53	-3.00	18.86	17.75	17.62	17.59	17.66	17.97	18.29	18.60
0.79	-2.95	18.68	17.58	17.45	17.41	17.48	17.78	18.09	18.40
1.04	-2.87	18.44	17.34	17.21	17.18	17.24	17.52	17.82	18.11
1.29	-2.76	18.13	17.04	16.91	16.87	16.92	17.19	17.48	17.75
1.53	-2.64	17.75	16.68	16.55	16.50	16.54	16.79	17.06	17.32
1.75	-2.50	17.31	16.26	16.12	16.08	16.10	16.32	16.57	16.81
1.96	-2.34	16.82	15.79	15.64	15.59	15.60	15.79	16.02	16.24
2.16	-2.16	16.26	15.26	15.11	15.05	15.05	15.21	15.41	15.60
2.34	-1.96	15.65	14.68	14.53	14.47	14.44	14.57	14.74	14.91
2.50	-1.75	15.00	14.05	13.90	13.83	13.79	13.88	14.02	14.16
2.64	-1.53	14.30	13.39	13.23	13.16	13.09	13.15	13.25	13.37
2.76	-1.29	13.55	12.69	12.53	12.45	12.36	12.37	12.45	12.53
2.87	-1.04	12.78	11.95	11.79	11.71	11.60	11.57	11.61	11.66
2.95	-0.79	11.97	11.20	11.03	10.94	10.81	10.74	10.74	10.76
3.00	-0.53	11.13	10.42	10.25	10.16	10.01	9.89	9.86	9.84
3.04	-0.27	10.28	9.63	9.46	9.36	9.19	9.03	8.96	8.91
3.05	0.00	9.41	8.83	8.66	8.56	8.36	8.16	8.05	7.97
3.04	0.27	8.54	8.02	7.86	7.75	7.54	7.29	7.14	7.03
3.00	0.53	7.66	7.23	7.06	6.95	6.71	6.43	6.24	6.09
2.95	0.79	6.79	6.44	6.28	6.16	5.91	5.58	5.35	5.17
2.87	1.04	5.93	5.67	5.51	5.39	5.12	4.75	4.49	4.27
2.76	1.29	5.10	4.93	4.77	4.65	4.35	3.95	3.65	3.40
2.64	1.53	4.29	4.21	4.06	3.93	3.62	3.17	2.84	2.56
2.50	1.75	3.53	3.53	3.38	3.25	2.92	2.44	2.07	1.77
2.34	1.96	2.81	2.90	2.75	2.61	2.27	1.75	1.35	1.02
2.16	2.16	2.16	2.31	2.17	2.02	1.66	1.11	0.69	0.33
1.96	2.34	1.58	1.78	1.63	1.49	1.11	0.53	0.07	-0.31
1.75	2.50	1.08	1.31	1.16	1.00	0.61	0.00	-0.48	-0.88
1.53	2.64	0.68	0.90	0.74	0.58	0.17	-0.47	-0.97	-1.39
1.29	2.76	0.38	0.55	0.38	0.22	-0.21	-0.87	-1.38	-1.82
1.04	2.87	0.18	0.27	0.09	-0.08	-0.52	-1.20	-1.73	-2.18
0.79	2.95	0.06	0.06	-0.14	-0.31	-0.76	-1.46	-2.00	-2.46
0.53	3.00	0.01	-0.10	-0.30	-0.48	-0.94	-1.64	-2.20	-2.67
0.27	3.04	0.00	-0.19	-0.39	-0.58	-1.04	-1.75	-2.32	-2.79
0.00	3.05	0.00	-0.22	-0.43	-0.61	-1.08	-1.79	-2.35	-2.83



TABLA No. 15

ESFUERZOS  $\bar{\sigma}_x$ . COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA  
(t/m<sup>2</sup>)

X (m)	Y (m)	0	30	60	90	180	360	540	720
		( d í a s )							
0.00	-1.93	-1.08	-1.74	-2.01	-2.22	-2.68	-3.33	-3.82	-4.22
0.17	-1.92	-1.04	-1.70	-1.97	-2.18	-2.65	-3.29	-3.78	-4.18
0.33	-1.90	-0.91	-1.59	-1.86	-2.07	-2.53	-3.18	-3.66	-4.06
0.50	-1.86	-0.69	-1.40	-1.68	-1.89	-2.35	-2.99	-3.47	-3.87
0.66	-1.81	-0.40	-1.15	-1.43	-1.64	-2.10	-2.73	-3.20	-3.59
0.81	-1.75	-0.04	-0.83	-1.12	-1.33	-1.79	-2.41	-2.87	-3.25
0.96	-1.67	0.39	-0.46	-0.75	-0.96	-1.42	-2.03	-2.47	-2.84
1.10	-1.58	0.86	-0.04	-0.33	-0.55	-1.00	-1.59	-2.02	-2.37
1.24	-1.48	1.37	0.42	0.12	-0.09	-0.53	-1.10	-1.51	-1.85
1.36	-1.36	1.90	0.91	0.61	0.41	-0.02	-0.57	-0.97	-1.29
1.48	-1.24	2.45	1.42	1.12	0.92	0.51	-0.01	-0.38	-0.68
1.58	-1.10	2.98	1.94	1.65	1.45	1.06	0.57	0.23	-0.05
1.67	-0.96	3.50	2.46	2.18	1.99	1.62	1.17	0.86	0.61
1.75	-0.81	3.99	2.97	2.70	2.53	2.19	1.78	1.50	1.28
1.81	-0.66	4.43	3.46	3.21	3.05	2.74	2.38	2.14	1.96
1.86	-0.50	4.82	3.92	3.70	3.56	3.29	2.98	2.78	2.63
1.90	-0.33	5.14	4.35	4.16	4.04	3.82	3.57	3.41	3.29
1.92	-0.17	5.39	4.74	4.59	4.49	4.32	4.13	4.02	3.94
1.93	0.00	5.56	5.08	4.97	4.90	4.79	4.67	4.61	4.57
1.92	0.17	5.65	5.38	5.31	5.28	5.22	5.18	5.17	5.17
1.90	0.33	5.65	5.62	5.61	5.61	5.62	5.65	5.70	5.74
1.86	0.50	5.57	5.81	5.86	5.89	5.97	6.09	6.19	6.27
1.81	0.66	5.40	5.95	6.06	6.14	6.29	6.49	6.64	6.77
1.75	0.81	5.16	6.04	6.22	6.34	6.56	6.85	7.06	7.23
1.67	0.96	4.84	6.09	6.34	6.50	6.80	7.17	7.44	7.65
1.58	1.10	4.46	6.09	6.41	6.62	7.00	7.46	7.77	8.03
1.48	1.24	4.03	6.06	6.46	6.70	7.16	7.70	8.07	8.37
1.36	1.36	3.55	6.01	6.47	6.76	7.29	7.91	8.33	8.67
1.24	1.48	3.04	5.92	6.46	6.79	7.40	8.09	8.56	8.93
1.10	1.58	2.51	5.83	6.43	6.80	7.48	8.24	8.75	9.15
0.96	1.67	1.98	5.73	6.40	6.80	7.54	8.36	8.91	9.34
0.81	1.75	1.47	5.63	6.35	6.79	7.58	8.46	9.04	9.50
0.66	1.81	1.00	5.53	6.31	6.77	7.61	8.54	9.15	9.63
0.50	1.86	0.59	5.45	6.27	6.75	7.63	8.59	9.23	9.72
0.33	1.90	0.27	5.39	6.23	6.74	7.64	8.63	9.28	9.79
0.17	1.92	0.07	5.35	6.21	6.73	7.64	8.65	9.32	9.83
0.00	1.93	0.00	5.34	6.21	6.72	7.65	8.66	9.33	9.85

TABLA No. 16

ESFUERZOS  $\bar{\sigma}_y$ . COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA  
( $t/m^2$ )

X (m)	Y (m)	0	30	60	90	180	360	540	720
		( d i a s )							
0.00	-1.93	11.23	10.48	10.50	10.56	10.81	11.27	11.66	12.01
0.17	-1.92	11.17	10.44	10.46	10.52	10.77	11.23	11.62	11.97
0.33	-1.90	11.02	10.31	10.34	10.40	10.65	11.11	11.50	11.85
0.50	-1.86	10.76	10.11	10.14	10.21	10.46	10.91	11.30	11.64
0.66	-1.81	10.42	9.83	9.86	9.94	10.19	10.64	11.03	11.36
0.81	-1.75	9.98	9.47	9.52	9.60	9.86	10.31	10.68	11.01
0.96	-1.67	9.47	9.06	9.12	9.20	9.46	9.90	10.27	10.59
1.10	-1.58	8.90	8.58	8.66	8.75	9.01	9.44	9.80	10.10
1.24	-1.48	8.27	8.06	8.15	8.25	8.51	8.93	9.27	9.56
1.36	-1.36	7.60	7.50	7.61	7.71	7.97	8.38	8.70	8.98
1.48	-1.24	6.90	6.92	7.03	7.13	7.39	7.78	8.09	8.35
1.58	-1.10	6.19	6.31	6.44	6.54	6.80	7.17	7.45	7.69
1.67	-0.96	5.48	5.70	5.83	5.94	6.18	6.53	6.79	7.01
1.75	-0.81	4.78	5.09	5.23	5.33	5.57	5.88	6.12	6.31
1.81	-0.66	4.11	4.49	4.63	4.73	4.95	5.23	5.44	5.61
1.86	-0.50	3.48	3.91	4.04	4.14	4.34	4.59	4.76	4.90
1.90	-0.33	2.89	3.35	3.49	3.58	3.75	3.96	4.10	4.20
1.92	-0.17	2.35	2.83	2.95	3.04	3.18	3.35	3.45	3.52
1.93	0.00	1.87	2.35	2.46	2.53	2.64	2.76	2.82	2.86
1.92	0.17	1.45	1.90	2.00	2.06	2.14	2.20	2.22	2.23
1.90	0.33	1.09	1.51	1.58	1.62	1.67	1.67	1.65	1.62
1.86	0.50	0.79	1.16	1.21	1.23	1.23	1.18	1.11	1.05
1.81	0.66	0.55	0.85	0.88	0.88	0.84	0.73	0.62	0.52
1.75	0.81	0.37	0.59	0.59	0.57	0.49	0.32	0.16	0.02
1.67	0.96	0.23	0.38	0.35	0.31	0.18	-0.06	-0.26	-0.43
1.58	1.10	0.13	0.20	0.14	0.08	-0.10	-0.39	-0.64	-0.85
1.48	1.24	0.07	0.06	-0.03	-0.11	-0.33	-0.69	-0.97	-1.22
1.36	1.36	0.03	-0.05	-0.17	-0.27	-0.54	-0.95	-1.27	-1.55
1.24	1.48	0.01	-0.14	-0.28	-0.40	-0.71	-1.17	-1.53	-1.84
1.10	1.58	0.00	-0.20	-0.36	-0.50	-0.85	-1.36	-1.76	-2.09
0.96	1.67	0.00	-0.24	-0.43	-0.58	-0.96	-1.52	-1.95	-2.31
0.81	1.75	0.00	-0.27	-0.47	-0.64	-1.05	-1.65	-2.10	-2.48
0.66	1.81	0.00	-0.29	-0.51	-0.69	-1.12	-1.75	-2.23	-2.63
0.50	1.86	0.00	-0.30	-0.53	-0.72	-1.17	-1.83	-2.32	-2.74
0.33	1.90	0.00	-0.31	-0.54	-0.74	-1.21	-1.88	-2.39	-2.81
0.17	1.92	0.00	-0.31	-0.55	-0.75	-1.23	-1.91	-2.43	-2.86
0.00	1.93	0.00	-0.31	-0.55	-0.76	-1.24	-1.92	-2.44	-2.88



TABLA No. 18

ESFUERZOS  $\sigma_r$ . COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA  
( $t/m^2$ )

X (m)	Y (m)	0	30	60	90 ( d i a s )	180	360	540	720
0.00	-1.93	11.23	10.48	10.50	10.56	10.81	11.27	11.66	12.01
0.17	-1.92	11.20	10.46	10.48	10.54	10.78	11.24	11.64	11.98
0.33	-1.90	11.14	10.40	10.41	10.48	10.72	11.17	11.56	11.90
0.50	-1.86	11.04	10.30	10.31	10.37	10.60	11.04	11.42	11.76
0.66	-1.81	10.89	10.16	10.17	10.22	10.44	10.87	11.24	11.56
0.81	-1.75	10.71	9.98	9.98	10.03	10.24	10.65	11.00	11.32
0.96	-1.67	10.49	9.76	9.76	9.81	10.00	10.38	10.72	11.02
1.10	-1.58	10.23	9.51	9.50	9.54	9.72	10.08	10.39	10.67
1.24	-1.48	9.94	9.22	9.21	9.24	9.40	9.73	10.01	10.27
1.36	-1.36	9.61	8.91	8.88	8.91	9.05	9.34	9.60	9.83
1.48	-1.24	9.25	8.56	8.53	8.55	8.66	8.91	9.15	9.35
1.58	-1.10	8.86	8.19	8.15	8.15	8.24	8.46	8.66	8.84
1.67	-0.96	8.45	7.79	7.74	7.74	7.80	7.97	8.14	8.29
1.75	-0.81	8.01	7.37	7.31	7.30	7.33	7.46	7.59	7.72
1.81	-0.66	7.55	6.94	6.87	6.84	6.85	6.93	7.02	7.12
1.86	-0.50	7.07	6.49	6.41	6.37	6.35	6.38	6.44	6.50
1.90	-0.33	6.58	6.03	5.93	5.89	5.83	5.82	5.84	5.86
1.92	-0.17	6.07	5.56	5.45	5.40	5.31	5.25	5.23	5.22
1.93	0.00	5.56	5.08	4.97	4.90	4.79	4.67	4.61	4.57
1.92	0.17	5.04	4.61	4.49	4.41	4.26	4.10	4.00	3.92
1.90	0.33	4.53	4.14	4.01	3.92	3.74	3.53	3.39	3.28
1.86	0.50	4.01	3.67	3.53	3.43	3.22	2.96	2.78	2.64
1.81	0.66	3.51	3.22	3.07	2.96	2.72	2.42	2.20	2.02
1.75	0.81	3.01	2.78	2.62	2.50	2.24	1.88	1.63	1.42
1.67	0.96	2.54	2.36	2.19	2.06	1.77	1.37	1.08	0.85
1.58	1.10	2.08	1.96	1.79	1.65	1.33	0.89	0.56	0.30
1.48	1.24	1.66	1.58	1.40	1.25	0.91	0.43	0.08	-0.22
1.36	1.36	1.27	1.24	1.05	0.89	0.52	0.01	-0.38	-0.70
1.24	1.48	0.93	0.92	0.72	0.56	0.17	-0.38	-0.80	-1.14
1.10	1.58	0.64	0.64	0.43	0.26	-0.15	-0.73	-1.17	-1.53
0.96	1.67	0.40	0.39	0.17	-0.01	-0.43	-1.04	-1.50	-1.88
0.81	1.75	0.22	0.18	-0.05	-0.23	-0.68	-1.31	-1.78	-2.18
0.66	1.81	0.10	0.00	-0.23	-0.42	-0.88	-1.53	-2.02	-2.43
0.50	1.86	0.04	-0.13	-0.37	-0.57	-1.03	-1.70	-2.20	-2.62
0.33	1.90	0.01	-0.23	-0.47	-0.67	-1.15	-1.82	-2.34	-2.76
0.17	1.92	0.00	-0.29	-0.53	-0.74	-1.21	-1.90	-2.42	-2.85
0.00	1.93	0.00	-0.31	-0.55	-0.76	-1.24	-1.92	-2.44	-2.88





TABLA No. 20

ELEMENTOS MECANICOS EN EL PUNTO A.

INTERCEPTOR CENTRAL

t (días)	F (ton)	N <sub>A</sub> (ton)	M <sub>A</sub> (ton-m)
0	80.78	-22.58	115.70
30	83.67	-18.29	120.68
60	85.79	-16.98	123.88
90	87.60	-16.08	126.57
180	92.04	-14.30	133.10
360	98.78	-12.18	142.93
540	104.11	-10.74	150.68
720	108.64	-9.63	157.27

INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO

0	75.31	-21.05	107.86
30	78.00	-17.05	112.50
60	79.97	-15.83	115.49
90	81.66	-14.99	117.99
180	85.80	-13.33	124.08
360	92.08	-11.35	133.25
540	97.05	-10.02	140.47
720	101.27	-8.97	146.60

COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA

0	28.09	-7.85	25.39
30	30.16	-5.73	27.49
60	31.54	-5.14	28.78
90	32.67	-4.75	29.82
180	35.33	-3.96	32.27
360	39.19	-3.02	35.81
540	42.15	-2.37	38.52
720	44.63	-1.86	40.79

TABLA No. 21

FUERZAS RESULTANTES (P). INTERCEPTOR CENTRAL  
(ton)

$\theta$	0	30	60	90	180	360	540	720
	( d i a s )							
0.000	-1.09	-1.02	-1.01	-1.01	-1.02	-1.04	-1.05	-1.07
0.087	-6.50	-6.12	-6.08	-6.07	-6.09	-6.20	-6.32	-6.42
0.175	-11.88	-11.19	-11.11	-11.09	-11.15	-11.34	-11.55	-11.75
0.262	-17.20	-16.21	-16.10	-16.07	-16.15	-16.45	-16.75	-17.04
0.349	-22.42	-21.15	-21.01	-20.98	-21.09	-21.48	-21.89	-22.27
0.436	-27.52	-25.99	-25.83	-25.80	-25.94	-26.44	-26.95	-27.43
0.524	-32.46	-30.70	-30.52	-30.50	-30.69	-31.29	-31.91	-32.48
0.611	-37.23	-35.27	-35.08	-35.07	-35.31	-36.03	-36.75	-37.43
0.698	-41.80	-39.68	-39.49	-39.49	-39.79	-40.63	-41.47	-42.25
0.785	-46.15	-43.90	-43.72	-43.74	-44.11	-45.09	-46.04	-46.93
0.873	-50.26	-47.92	-47.76	-47.81	-48.25	-49.38	-50.46	-51.45
0.960	-54.11	-51.74	-51.60	-51.68	-52.22	-53.49	-54.70	-55.81
1.047	-57.69	-55.32	-55.23	-55.34	-55.98	-57.42	-58.76	-59.99
1.134	-60.99	-58.68	-58.64	-58.79	-59.54	-61.16	-62.64	-63.98
1.222	-64.01	-61.80	-61.82	-62.02	-62.89	-64.69	-66.32	-67.79
1.309	-66.75	-64.67	-64.76	-65.03	-66.03	-68.02	-69.80	-71.39
1.396	-69.20	-67.30	-67.47	-67.80	-68.95	-71.14	-73.08	-74.80
1.484	-71.36	-69.69	-69.95	-70.34	-71.65	-74.05	-76.15	-78.00
1.571	-73.25	-71.84	-72.20	-72.66	-74.13	-76.76	-79.01	-81.01
1.658	-74.88	-73.75	-74.22	-74.76	-76.40	-79.25	-81.68	-83.81
1.745	-76.25	-75.45	-76.02	-76.65	-78.45	-81.54	-84.14	-86.41
1.833	-77.40	-76.92	-77.61	-78.33	-80.31	-83.64	-86.41	-88.83
1.920	-78.32	-78.20	-79.01	-79.81	-81.98	-85.55	-88.49	-91.05
2.007	-79.06	-79.29	-80.22	-81.11	-83.46	-87.27	-90.40	-93.10
2.094	-79.62	-80.20	-81.26	-82.23	-84.77	-88.83	-92.13	-94.98
2.182	-80.04	-80.96	-82.14	-83.20	-85.93	-90.23	-93.71	-96.70
2.269	-80.33	-81.59	-82.88	-84.02	-86.93	-91.48	-95.13	-98.27
2.356	-80.53	-82.09	-83.49	-84.72	-87.81	-92.59	-96.42	-99.70
2.443	-80.66	-82.48	-83.99	-85.30	-88.56	-93.58	-97.59	-101.01
2.531	-80.73	-82.80	-84.40	-85.79	-89.22	-94.47	-98.64	-102.21
2.618	-80.76	-83.03	-84.74	-86.19	-89.78	-95.25	-99.60	-103.31
2.705	-80.78	-83.22	-85.00	-86.52	-90.27	-95.96	-100.48	-104.33
2.793	-80.78	-83.35	-85.22	-86.80	-90.70	-96.60	-101.29	-105.27
2.880	-80.78	-83.46	-85.39	-87.04	-91.07	-97.19	-102.04	-106.16
2.967	-80.78	-83.54	-85.54	-87.24	-91.42	-97.74	-102.75	-107.01
3.054	-80.78	-83.61	-85.67	-87.42	-91.73	-98.27	-103.43	-107.83
3.142	-80.78	-83.67	-85.79	-87.60	-92.04	-98.78	-104.11	-108.64

TABLA No. 22

FUERZAS RESULTANTES (Q). INTERCEPTOR CENTRAL  
(ton)

$\theta$	0	30	60	90	180	360	540	720
	( d í a s )							
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.087	0.18	0.15	0.15	0.15	0.14	0.13	0.13	0.13
0.175	0.66	0.57	0.54	0.53	0.51	0.48	0.47	0.46
0.262	1.43	1.23	1.18	1.15	1.10	1.05	1.02	1.00
0.349	2.48	2.13	2.05	2.00	1.91	1.83	1.78	1.75
0.436	3.81	3.28	3.15	3.07	2.93	2.81	2.74	2.69
0.524	5.39	4.64	4.46	4.35	4.16	3.98	3.88	3.81
0.611	7.22	6.22	5.98	5.83	5.58	5.34	5.21	5.12
0.698	9.26	7.99	7.68	7.50	7.18	6.87	6.70	6.59
0.785	11.50	9.94	9.56	9.33	8.93	8.56	8.35	8.21
0.873	13.90	12.04	11.59	11.32	10.84	10.39	10.14	9.97
0.960	16.46	14.28	13.76	13.43	12.88	12.35	12.06	11.86
1.047	19.12	16.63	16.03	15.66	15.03	14.41	14.08	13.86
1.134	21.88	19.08	18.40	17.98	17.26	16.57	16.20	15.94
1.222	24.69	21.59	20.84	20.37	19.58	18.81	18.39	18.11
1.309	27.52	24.14	23.32	22.81	21.94	21.09	20.63	20.32
1.396	30.34	26.71	25.83	25.28	24.33	23.42	22.92	22.58
1.484	33.13	29.28	28.33	27.75	26.74	25.76	25.22	24.86
1.571	35.85	31.82	30.82	30.21	29.13	28.09	27.52	27.14
1.658	38.48	34.30	33.27	32.62	31.50	30.41	29.80	29.40
1.745	40.98	36.71	35.65	34.98	33.82	32.68	32.05	31.63
1.833	43.33	39.03	37.95	37.27	36.07	34.90	34.25	33.81
1.920	45.52	41.24	40.15	39.46	38.24	37.04	36.37	35.92
2.007	47.51	43.32	42.23	41.54	40.32	39.10	38.42	37.95
2.094	49.30	45.26	44.19	43.50	42.28	41.05	40.36	39.89
2.182	50.87	47.05	46.00	45.33	44.12	42.89	42.19	41.71
2.269	52.23	48.68	47.66	47.01	45.82	44.60	43.90	43.42
2.356	53.35	50.14	49.17	48.54	47.38	46.17	45.47	44.99
2.443	54.26	51.43	50.52	49.91	48.78	47.59	46.90	46.42
2.531	54.96	52.55	51.70	51.12	50.03	48.86	48.18	47.70
2.618	55.47	53.50	52.71	52.17	51.11	49.97	49.29	48.82
2.705	55.81	54.29	53.56	53.05	52.03	50.91	50.24	49.77
2.793	56.01	54.93	54.25	53.76	52.78	51.69	51.03	50.56
2.880	56.12	55.40	54.78	54.31	53.37	52.29	51.63	51.17
2.967	56.16	55.74	55.15	54.70	53.78	52.71	52.06	51.60
3.054	56.17	55.93	55.36	54.93	54.02	52.96	52.32	51.85
3.142	56.17	55.99	55.42	54.99	54.08	53.03	52.39	51.93

TABLE No. 23

MOMENTOS FLEXIONANTES (M). INTERCEPTOR CENTRAL  
(ton-m)

$\theta$	0	30	60	90	180	360	540	720
	( d i a s )							
0.000	115.70	120.68	123.88	126.57	133.10	142.93	150.68	157.27
0.087	94.83	99.04	101.69	103.91	109.28	117.36	123.73	129.13
0.175	75.03	78.50	80.61	82.38	86.66	93.07	98.12	102.40
0.262	56.44	59.18	60.80	62.14	65.38	70.22	74.03	77.27
0.349	39.18	41.23	42.38	43.32	45.59	48.98	51.63	53.89
0.436	23.34	24.74	25.45	26.03	27.41	29.45	31.04	32.40
0.524	9.00	9.79	10.10	10.35	10.92	11.74	12.37	12.91
0.611	-3.77	-3.55	-3.60	-3.65	-3.81	-4.08	-4.31	-4.50
0.698	-14.93	-15.24	-15.60	-15.92	-16.72	-17.95	-18.93	-19.76
0.785	-24.47	-25.25	-25.89	-26.44	-27.79	-29.84	-31.47	-32.85
0.873	-32.39	-33.59	-34.46	-35.20	-37.01	-39.76	-41.92	-43.76
0.960	-38.70	-40.26	-41.33	-42.22	-44.41	-47.71	-50.31	-52.51
1.047	-43.44	-45.32	-46.53	-47.55	-50.02	-53.74	-56.67	-59.15
1.134	-46.68	-48.80	-50.12	-51.22	-53.90	-57.91	-61.06	-63.74
1.222	-48.47	-50.78	-52.17	-53.32	-56.12	-60.30	-63.58	-66.37
1.309	-48.90	-51.34	-52.76	-53.94	-56.77	-61.01	-64.33	-67.15
1.396	-48.08	-50.59	-52.01	-53.17	-55.98	-60.15	-63.43	-66.21
1.484	-46.11	-48.64	-50.01	-51.14	-53.85	-57.87	-61.02	-63.69
1.571	-43.11	-45.60	-46.91	-47.97	-50.51	-54.29	-57.24	-59.75
1.658	-39.23	-41.61	-42.82	-43.80	-46.13	-49.57	-52.26	-54.55
1.745	-34.58	-36.82	-37.90	-38.77	-40.83	-43.88	-46.26	-48.28
1.833	-29.33	-31.35	-32.29	-33.03	-34.79	-37.38	-39.40	-41.11
1.920	-23.60	-25.37	-26.14	-26.74	-28.17	-30.25	-31.88	-33.25
2.007	-17.54	-19.01	-19.60	-20.06	-21.12	-22.66	-23.87	-24.89
2.094	-11.30	-12.43	-12.82	-13.12	-13.81	-14.79	-15.56	-16.21
2.182	-5.02	-5.77	-5.96	-6.09	-6.39	-6.81	-7.13	-7.40
2.269	1.17	0.84	0.85	0.88	0.97	1.12	1.24	1.34
2.356	7.14	7.25	7.47	7.66	8.13	8.83	9.38	9.85
2.443	12.78	13.35	13.76	14.11	14.94	16.18	17.14	17.96
2.531	17.97	19.01	19.61	20.11	21.28	23.02	24.37	25.51
2.618	22.64	24.14	24.92	25.55	27.03	29.22	30.92	32.36
2.705	26.70	28.64	29.57	30.32	32.09	34.67	36.68	38.38
2.793	30.10	32.42	33.50	34.35	36.35	39.27	41.54	43.46
2.880	32.77	35.44	36.62	37.56	39.75	42.94	45.42	47.52
2.967	34.71	37.63	38.90	39.90	42.23	45.62	48.25	50.48
3.054	35.87	38.96	40.28	41.31	43.73	47.25	49.98	52.28
3.142	36.26	39.41	40.74	41.79	44.24	47.80	50.57	52.90

TABLA No. 24

ESFUERZOS NORMALES (N). INTERCEPTOR CENTRAL  
(ton)

Ø	0	30	60	90	180	360	540	720
	( d i a s )							
0.000	-22.58	-18.29	-16.98	-16.08	-14.30	-12.18	-10.74	-9.63
0.087	-15.84	-11.31	-9.82	-8.77	-6.62	-3.93	-2.05	-0.55
0.175	-9.62	-4.87	-3.22	-2.03	0.46	3.67	5.96	7.80
0.262	-3.97	0.98	2.78	4.09	6.89	10.56	13.22	15.38
0.349	1.08	6.20	8.13	9.55	12.62	16.71	19.70	22.14
0.436	5.50	10.77	12.81	14.33	17.63	22.08	25.35	28.04
0.524	9.28	14.66	16.80	18.39	21.89	26.64	30.16	33.05
0.611	12.40	17.87	20.07	21.73	25.39	30.39	34.10	37.15
0.698	14.85	20.39	22.64	24.35	28.13	33.31	37.16	40.35
0.785	16.65	22.22	24.50	26.24	30.10	35.40	39.37	42.64
0.873	17.81	23.37	25.67	27.42	31.32	36.69	40.71	44.03
0.960	18.34	23.86	26.16	27.91	31.81	37.19	41.22	44.56
1.047	18.27	23.72	25.99	27.72	31.59	36.93	40.94	44.25
1.134	17.64	22.98	25.21	26.91	30.70	35.95	39.89	43.14
1.222	16.48	21.68	23.85	25.50	29.19	34.30	38.12	41.29
1.309	14.83	19.87	21.96	23.55	27.10	32.01	35.70	38.75
1.396	12.76	17.58	19.58	21.10	24.48	29.17	32.67	35.58
1.484	10.31	14.88	16.77	18.21	21.40	25.81	29.12	31.85
1.571	7.53	11.83	13.59	14.93	17.91	22.02	25.09	27.64
1.658	4.50	8.48	10.11	11.34	14.09	17.86	20.68	23.02
1.745	1.26	4.90	6.38	7.50	9.99	13.41	15.96	18.07
1.833	-2.10	1.15	2.47	3.47	5.69	8.74	11.01	12.88
1.920	-5.53	-2.71	-1.55	-0.68	1.27	3.93	5.91	7.54
2.007	-8.97	-6.61	-5.62	-4.88	-3.22	-0.95	0.73	2.11
2.094	-12.36	-10.48	-9.68	-9.06	-7.69	-5.82	-4.44	-3.30
2.182	-15.62	-14.28	-13.65	-13.17	-12.09	-10.61	-9.52	-8.62
2.269	-18.71	-17.94	-17.49	-17.14	-16.34	-15.25	-14.44	-13.78
2.356	-21.58	-21.40	-21.14	-20.92	-20.39	-19.66	-19.12	-18.69
2.443	-24.19	-24.62	-24.54	-24.44	-24.18	-23.79	-23.51	-23.28
2.531	-26.49	-27.56	-27.65	-27.67	-27.65	-27.58	-27.53	-27.50
2.618	-28.47	-30.18	-30.42	-30.55	-30.75	-30.97	-31.13	-31.28
2.705	-30.11	-32.44	-32.83	-33.05	-33.45	-33.92	-34.27	-34.56
2.793	-31.42	-34.32	-34.83	-35.14	-35.70	-36.38	-36.89	-37.31
2.880	-32.40	-35.80	-36.41	-36.78	-37.48	-38.33	-38.96	-39.49
2.967	-33.07	-36.86	-37.55	-37.97	-38.77	-39.74	-40.46	-41.06
3.054	-33.46	-37.49	-38.23	-38.68	-39.54	-40.59	-41.36	-42.00
3.142	-33.59	-37.70	-38.45	-38.91	-39.78	-40.86	-41.64	-42.30



TABLA No. 26

FUERZAS RESULTANTES (P). INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO  
(ton)

θ	0	30	60	90	180	360	540	720
	( d í a s )							
0.000	-1.01	-0.95	-0.95	-0.94	-0.95	-0.96	-0.98	-1.00
0.087	-6.06	-5.71	-5.66	-5.66	-5.68	-5.78	-5.89	-5.99
0.175	-11.08	-10.43	-10.36	-10.34	-10.39	-10.58	-10.77	-10.96
0.262	-16.03	-15.11	-15.01	-14.98	-15.06	-15.33	-15.62	-15.89
0.349	-20.90	-19.71	-19.58	-19.56	-19.66	-20.03	-20.41	-20.76
0.436	-25.65	-24.23	-24.07	-24.05	-24.19	-24.65	-25.12	-25.57
0.524	-30.26	-28.62	-28.45	-28.43	-28.61	-29.17	-29.74	-30.28
0.611	-34.71	-32.88	-32.71	-32.69	-32.92	-33.59	-34.26	-34.89
0.698	-38.97	-36.99	-36.81	-36.81	-37.09	-37.88	-38.66	-39.38
0.785	-43.02	-40.92	-40.76	-40.77	-41.12	-42.03	-42.92	-43.75
0.873	-46.85	-44.67	-44.52	-44.57	-44.98	-46.03	-47.04	-47.96
0.960	-50.44	-48.23	-48.10	-48.17	-48.68	-49.87	-50.99	-52.02
1.047	-53.78	-51.57	-51.49	-51.59	-52.19	-53.53	-54.78	-55.92
1.134	-56.86	-54.70	-54.66	-54.81	-55.51	-57.01	-58.39	-59.64
1.222	-59.67	-57.61	-57.62	-57.82	-58.63	-60.31	-61.82	-63.19
1.309	-62.22	-60.29	-60.37	-60.62	-61.55	-63.41	-65.07	-66.55
1.396	-64.50	-62.74	-62.90	-63.20	-64.27	-66.32	-68.12	-69.73
1.484	-66.52	-64.97	-65.21	-65.58	-66.79	-69.04	-70.98	-72.71
1.571	-68.29	-66.97	-67.30	-67.74	-69.10	-71.55	-73.66	-75.51
1.658	-69.80	-68.75	-69.19	-69.69	-71.22	-73.88	-76.14	-78.13
1.745	-71.08	-70.33	-70.87	-71.45	-73.14	-76.02	-78.44	-80.55
1.833	-72.15	-71.71	-72.35	-73.02	-74.87	-77.97	-80.55	-82.80
1.920	-73.01	-72.90	-73.65	-74.40	-76.42	-79.75	-82.49	-84.88
2.007	-73.70	-73.91	-74.78	-75.61	-77.80	-81.36	-84.27	-86.79
2.094	-74.22	-74.76	-75.75	-76.66	-79.03	-82.81	-85.89	-88.54
2.182	-74.61	-75.47	-76.57	-77.56	-80.10	-84.11	-87.35	-90.14
2.269	-74.89	-76.05	-77.26	-78.33	-81.04	-85.27	-88.68	-91.61
2.356	-75.07	-76.52	-77.83	-78.98	-81.86	-86.31	-89.88	-92.94
2.443	-75.19	-76.89	-78.30	-79.52	-82.56	-87.24	-90.97	-94.17
2.531	-75.25	-77.18	-78.68	-79.97	-83.17	-88.06	-91.96	-95.28
2.618	-75.29	-77.41	-78.99	-80.35	-83.70	-88.80	-92.85	-96.31
2.705	-75.30	-77.58	-79.24	-80.66	-84.15	-89.46	-93.67	-97.26
2.793	-75.31	-77.70	-79.44	-80.92	-84.55	-90.06	-94.42	-98.14
2.880	-75.31	-77.80	-79.60	-81.14	-84.90	-90.60	-95.12	-98.97
2.967	-75.31	-77.88	-79.74	-81.33	-85.22	-91.12	-95.78	-99.76
3.054	-75.31	-77.94	-79.86	-81.50	-85.52	-91.60	-96.42	-100.52
3.142	-75.31	-78.00	-79.97	-81.66	-85.80	-92.08	-97.05	-101.27

TABLA No. 27

FUERZAS RESULTANTES (Q). INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO  
(ton)

$\theta$	0	30	60	90	180	360	540	720
	( d í a s )							
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.087	0.17	0.14	0.14	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12
0.175	0.61	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.43
0.262	1.33	1.14	1.10	1.07	1.02	0.98	0.95	0.94
0.349	2.31	1.99	1.91	1.86	1.78	1.70	1.66	1.63
0.436	3.55	3.05	2.93	2.86	2.74	2.62	2.55	2.51
0.524	5.03	4.33	4.16	4.06	3.88	3.71	3.62	3.56
0.611	6.73	5.80	5.57	5.44	5.20	4.98	4.85	4.77
0.698	8.63	7.45	7.16	6.99	6.69	6.40	6.25	6.14
0.785	10.72	9.26	8.91	8.70	8.33	7.98	7.78	7.65
0.873	12.96	11.22	10.80	10.55	10.11	9.68	9.45	9.30
0.960	15.34	13.31	12.82	12.52	12.00	11.51	11.24	11.06
1.047	17.83	15.51	14.94	14.60	14.01	13.44	13.13	12.92
1.134	20.39	17.78	17.15	16.76	16.09	15.45	15.10	14.86
1.222	23.01	20.12	19.42	18.99	18.25	17.53	17.14	16.88
1.309	25.65	22.50	21.74	21.27	20.45	19.67	19.23	18.95
1.396	28.29	24.90	24.08	23.57	22.68	21.83	21.36	21.05
1.484	30.89	27.29	26.41	25.87	24.93	24.01	23.51	23.17
1.571	33.42	29.66	28.73	28.16	27.16	26.19	25.65	25.29
1.658	35.87	31.98	31.01	30.41	29.37	28.35	27.78	27.40
1.745	38.20	34.22	33.23	32.61	31.53	30.47	29.88	29.48
1.833	40.40	36.39	35.37	34.74	33.63	32.53	31.93	31.51
1.920	42.43	38.44	37.42	36.78	35.65	34.53	33.91	33.48
2.007	44.29	40.38	39.37	38.72	37.58	36.45	35.81	35.38
2.094	45.96	42.19	41.19	40.55	39.41	38.27	37.62	37.18
2.182	47.43	43.86	42.88	42.25	41.13	39.98	39.33	38.88
2.269	48.69	45.38	44.43	43.82	42.71	41.57	40.92	40.47
2.356	49.74	46.74	45.84	45.25	44.16	43.04	42.39	41.94
2.443	50.58	47.94	47.09	46.53	45.47	44.37	43.72	43.27
2.531	51.23	48.99	48.19	47.66	46.64	45.55	44.91	44.46
2.618	51.70	49.88	49.14	48.63	47.65	46.58	45.95	45.51
2.705	52.02	50.61	49.93	49.45	48.51	47.46	46.84	46.40
2.793	52.21	51.20	50.57	50.12	49.21	48.19	47.57	47.13
2.880	52.31	51.65	51.06	50.63	49.75	48.75	48.13	47.70
2.967	52.35	51.96	51.41	50.99	50.13	49.14	48.53	48.10
3.054	52.36	52.14	51.61	51.20	50.35	49.37	48.77	48.34
3.142	52.36	52.19	51.67	51.26	50.42	49.44	48.84	48.40



TABLA No. 28

MOMENTOS FLEXIONANTES (M). INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO  
(ton-m)

θ	0	30	60	90	180	360	540	720
	( d í a s )							
0.000	107.86	112.50	115.49	117.99	124.08	133.25	140.47	146.60
0.087	88.40	92.33	94.80	96.86	101.87	109.41	115.34	120.38
0.175	69.95	73.18	75.15	76.79	80.78	86.76	91.46	95.46
0.262	52.62	55.17	56.68	57.93	60.95	65.46	69.01	72.03
0.349	36.52	38.43	39.50	40.38	42.50	45.66	48.13	50.23
0.436	21.76	23.06	23.72	24.26	25.55	27.45	28.94	30.20
0.524	8.39	9.12	9.42	9.65	10.18	10.94	11.53	12.03
0.611	-3.51	-3.31	-3.35	-3.40	-3.55	-3.80	-4.01	-4.19
0.698	-13.92	-14.21	-14.54	-14.84	-15.59	-16.73	-17.64	-18.42
0.785	-22.81	-23.54	-24.13	-24.64	-25.90	-27.82	-29.33	-30.62
0.873	-30.19	-31.31	-32.12	-32.81	-34.50	-37.06	-39.08	-40.79
0.960	-36.08	-37.53	-38.53	-39.36	-41.40	-44.47	-46.90	-48.95
1.047	-40.50	-42.24	-43.37	-44.32	-46.63	-50.09	-52.82	-55.14
1.134	-43.51	-45.49	-46.72	-47.75	-50.24	-53.98	-56.92	-59.42
1.222	-45.18	-47.33	-48.63	-49.71	-52.31	-56.21	-59.27	-61.87
1.309	-45.58	-47.86	-49.19	-50.28	-52.93	-56.87	-59.97	-62.60
1.396	-44.82	-47.16	-48.48	-49.57	-52.18	-56.08	-59.13	-61.72
1.484	-42.98	-45.34	-46.62	-47.67	-50.20	-53.94	-56.88	-59.37
1.571	-40.19	-42.51	-43.73	-44.72	-47.09	-50.61	-53.36	-55.69
1.658	-36.57	-38.79	-39.92	-40.83	-43.00	-46.21	-48.72	-50.85
1.745	-32.24	-34.32	-35.33	-36.14	-38.07	-40.90	-43.12	-45.00
1.833	-27.34	-29.23	-30.10	-30.79	-32.44	-34.85	-36.73	-38.33
1.920	-22.00	-23.65	-24.36	-24.93	-26.26	-28.20	-29.72	-31.00
2.007	-16.35	-17.72	-18.27	-18.70	-19.69	-21.13	-22.25	-23.20
2.094	-10.54	-11.59	-11.95	-12.23	-12.87	-13.79	-14.51	-15.11
2.182	-4.68	-5.38	-5.55	-5.68	-5.96	-6.35	-6.65	-6.90
2.269	1.09	0.78	0.79	0.82	0.90	1.04	1.16	1.25
2.356	6.65	6.76	6.96	7.14	7.57	8.23	8.75	9.18
2.443	11.91	12.44	12.83	13.15	13.93	15.08	15.98	16.74
2.531	16.76	17.72	18.28	18.74	19.84	21.45	22.71	23.78
2.618	21.11	22.50	23.23	23.81	25.20	27.24	28.82	30.16
2.705	24.89	26.69	27.57	28.27	29.91	32.32	34.19	35.77
2.793	28.06	30.23	31.23	32.02	33.89	36.61	38.73	40.51
2.880	30.55	33.04	34.14	35.01	37.06	40.03	42.35	44.30
2.967	32.35	35.08	36.26	37.19	39.36	42.53	44.98	47.05
3.054	33.44	36.32	37.55	38.51	40.77	44.04	46.59	48.73
3.142	33.81	36.74	37.98	38.96	41.24	44.56	47.14	49.31

TABLA No. 29

ESFUERZOS NORMALES (N). INTERCEPTOR CENTRO-CENTRO  
(ton)

θ	0	30	60	90	180	360	540	720
	( d i a s )							
0.000	-21.05	-17.05	-15.83	-14.99	-13.33	-11.35	-10.02	-8.97
0.087	-14.77	-10.54	-9.15	-8.17	-6.17	-3.67	-1.91	-0.52
0.175	-8.97	-4.54	-3.00	-1.89	0.43	3.42	5.55	7.27
0.262	-3.70	0.91	2.59	3.81	6.42	9.84	12.32	14.34
0.349	1.01	5.78	7.58	8.90	11.77	15.58	18.36	20.64
0.436	5.13	10.04	11.94	13.35	16.44	20.58	23.63	26.14
0.524	8.65	13.67	15.66	17.14	20.41	24.84	28.11	30.81
0.611	11.56	16.66	18.71	20.26	23.67	28.33	31.78	34.63
0.698	13.85	19.01	21.11	22.70	26.22	31.05	34.64	37.61
0.785	15.53	20.71	22.84	24.46	28.06	33.00	36.70	39.75
0.873	16.60	21.78	23.93	25.56	29.20	34.20	37.95	41.05
0.960	17.10	22.24	24.38	26.01	29.65	34.67	38.43	41.54
1.047	17.03	22.11	24.23	25.84	29.45	34.43	38.16	41.25
1.134	16.44	21.42	23.50	25.09	28.62	33.51	37.18	40.22
1.222	15.36	20.21	22.23	23.77	27.21	31.97	35.54	38.49
1.309	13.83	18.52	20.47	21.95	25.26	29.84	33.28	36.12
1.396	11.89	16.39	18.25	19.67	22.83	27.19	30.46	33.17
1.484	9.61	13.88	15.63	16.97	19.95	24.06	27.14	29.69
1.571	7.02	11.03	12.67	13.92	16.70	20.53	23.39	25.76
1.658	4.19	7.91	9.42	10.58	13.13	16.65	19.28	21.45
1.745	1.18	4.57	5.95	6.99	9.31	12.50	14.88	16.84
1.833	-1.96	1.07	2.30	3.24	5.31	8.15	10.26	12.01
1.920	-5.16	-2.52	-1.45	-0.63	1.18	3.66	5.51	7.02
2.007	-8.37	-6.16	-5.24	-4.55	-3.00	-0.89	0.68	1.97
2.094	-11.52	-9.77	-9.02	-8.45	-7.17	-5.43	-4.14	-3.08
2.182	-14.56	-13.31	-12.73	-12.28	-11.27	-9.89	-8.87	-8.04
2.269	-17.45	-16.72	-16.31	-15.98	-15.24	-14.21	-13.46	-12.84
2.356	-20.12	-19.95	-19.71	-19.50	-19.01	-18.33	-17.83	-17.42
2.443	-22.55	-22.95	-22.88	-22.78	-22.54	-22.18	-21.91	-21.70
2.531	-24.70	-25.69	-25.77	-25.79	-25.77	-25.71	-25.66	-25.63
2.618	-26.54	-28.13	-28.36	-28.48	-28.67	-28.87	-29.02	-29.16
2.705	-28.07	-30.24	-30.60	-30.81	-31.18	-31.62	-31.94	-32.22
2.793	-29.29	-31.99	-32.47	-32.75	-33.28	-33.92	-34.39	-34.78
2.880	-30.20	-33.37	-33.94	-34.29	-34.94	-35.74	-36.32	-36.81
2.967	-30.83	-34.36	-35.00	-35.40	-36.14	-37.05	-37.71	-38.27
3.054	-31.20	-34.95	-35.64	-36.06	-36.86	-37.84	-38.55	-39.15
3.142	-31.32	-35.14	-35.84	-36.27	-37.08	-38.09	-38.82	-39.43



TABLA No. 31

FUERZAS RESULTANTES (P). COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA  
(ton)

θ	0	30	60	90	180	360	540	720
	( d i a s )							
0.000	-0.38	-0.35	-0.35	-0.36	-0.36	-0.38	-0.39	-0.40
0.087	-2.26	-2.11	-2.11	-2.13	-2.18	-2.27	-2.35	-2.42
0.175	-4.13	-3.86	-3.87	-3.89	-3.98	-4.15	-4.30	-4.43
0.262	-5.98	-5.59	-5.60	-5.64	-5.77	-6.02	-6.24	-6.42
0.349	-7.79	-7.30	-7.32	-7.37	-7.54	-7.87	-8.15	-8.40
0.436	-9.57	-8.97	-9.00	-9.06	-9.28	-9.69	-10.05	-10.35
0.524	-11.29	-10.60	-10.64	-10.72	-10.99	-11.48	-11.91	-12.27
0.611	-12.94	-12.19	-12.24	-12.34	-12.66	-13.24	-13.73	-14.16
0.698	-14.53	-13.72	-13.79	-13.91	-14.28	-14.95	-15.51	-16.00
0.785	-16.04	-15.20	-15.29	-15.42	-15.85	-16.61	-17.24	-17.80
0.873	-17.47	-16.61	-16.72	-16.87	-17.36	-18.21	-18.92	-19.54
0.960	-18.81	-17.95	-18.09	-18.27	-18.82	-19.76	-20.55	-21.23
1.047	-20.06	-19.22	-19.38	-19.59	-20.21	-21.25	-22.12	-22.87
1.134	-21.21	-20.41	-20.61	-20.85	-21.53	-22.68	-23.62	-24.44
1.222	-22.26	-21.52	-21.76	-22.03	-22.79	-24.04	-25.07	-25.95
1.309	-23.21	-22.56	-22.84	-23.14	-23.97	-25.33	-26.44	-27.39
1.396	-24.06	-23.51	-23.84	-24.18	-25.09	-26.56	-27.75	-28.77
1.484	-24.81	-24.39	-24.76	-25.13	-26.13	-27.71	-28.99	-30.08
1.571	-25.47	-25.18	-25.61	-26.02	-27.10	-28.80	-30.16	-31.32
1.658	-26.03	-25.90	-26.38	-26.83	-28.00	-29.82	-31.27	-32.50
1.745	-26.51	-26.54	-27.08	-27.57	-28.83	-30.77	-32.30	-33.61
1.833	-26.91	-27.11	-27.71	-28.24	-29.59	-31.65	-33.27	-34.65
1.920	-27.23	-27.61	-28.27	-28.85	-30.29	-32.47	-34.18	-35.63
2.007	-27.49	-28.05	-28.77	-29.39	-30.92	-33.22	-35.03	-36.55
2.094	-27.68	-28.43	-29.20	-29.87	-31.49	-33.92	-35.81	-37.41
2.182	-27.83	-28.75	-29.59	-30.29	-32.01	-34.56	-36.55	-38.22
2.269	-27.93	-29.02	-29.92	-30.67	-32.48	-35.15	-37.23	-38.97
2.356	-28.00	-29.25	-30.20	-31.00	-32.90	-35.70	-37.86	-39.68
2.443	-28.04	-29.44	-30.45	-31.29	-33.28	-36.20	-38.45	-40.34
2.531	-28.07	-29.60	-30.66	-31.54	-33.62	-36.66	-39.00	-40.97
2.618	-28.08	-29.73	-30.84	-31.76	-33.92	-37.08	-39.51	-41.56
2.705	-28.08	-29.83	-30.99	-31.95	-34.20	-37.48	-40.00	-42.11
2.793	-28.09	-29.92	-31.13	-32.12	-34.45	-37.85	-40.46	-42.65
2.880	-28.09	-29.99	-31.24	-32.27	-34.69	-38.20	-40.90	-43.16
2.967	-28.09	-30.05	-31.35	-32.41	-34.91	-38.54	-41.32	-43.66
3.054	-28.09	-30.11	-31.44	-32.54	-35.12	-38.87	-41.74	-44.15
3.142	-28.09	-30.16	-31.54	-32.67	-35.33	-39.19	-42.15	-44.63

TABLA No. 32

FUERZAS RESULTANTES (Q). COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA  
(ton)

$\theta$	0	30	60	90 ( d i a s )	180	360	540	720
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.087	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
0.175	0.23	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15
0.262	0.50	0.40	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.33
0.349	0.86	0.70	0.67	0.65	0.63	0.60	0.59	0.58
0.436	1.32	1.08	1.03	1.01	0.96	0.92	0.90	0.89
0.524	1.88	1.53	1.46	1.43	1.36	1.31	1.28	1.26
0.611	2.51	2.05	1.96	1.91	1.83	1.76	1.72	1.69
0.698	3.22	2.64	2.52	2.46	2.35	2.26	2.21	2.18
0.785	4.00	3.28	3.14	3.06	2.93	2.82	2.76	2.72
0.873	4.83	3.98	3.81	3.72	3.56	3.43	3.35	3.31
0.960	5.72	4.72	4.53	4.42	4.23	4.07	3.99	3.94
1.047	6.65	5.50	5.28	5.15	4.95	4.76	4.66	4.60
1.134	7.61	6.32	6.07	5.92	5.69	5.48	5.37	5.30
1.222	8.58	7.15	6.88	6.72	6.46	6.22	6.10	6.02
1.309	9.57	8.01	7.71	7.53	7.24	6.99	6.85	6.76
1.396	10.55	8.87	8.54	8.35	8.04	7.76	7.62	7.52
1.484	11.52	9.74	9.39	9.18	8.85	8.55	8.39	8.29
1.571	12.47	10.60	10.22	10.01	9.65	9.33	9.16	9.05
1.658	13.38	11.44	11.05	10.83	10.45	10.11	9.94	9.82
1.745	14.25	12.26	11.86	11.63	11.24	10.88	10.70	10.57
1.833	15.07	13.06	12.65	12.41	12.01	11.64	11.44	11.31
1.920	15.82	13.82	13.41	13.16	12.75	12.37	12.17	12.03
2.007	16.52	14.55	14.13	13.88	13.46	13.07	12.86	12.73
2.094	17.14	15.23	14.81	14.56	14.14	13.74	13.53	13.39
2.182	17.69	15.86	15.45	15.20	14.77	14.37	14.16	14.01
2.269	18.16	16.45	16.04	15.79	15.37	14.97	14.75	14.60
2.356	18.55	16.97	16.58	16.33	15.91	15.51	15.29	15.14
2.443	18.86	17.45	17.06	16.83	16.41	16.01	15.79	15.64
2.531	19.11	17.86	17.50	17.26	16.85	16.45	16.23	16.08
2.618	19.28	18.22	17.87	17.64	17.24	16.84	16.62	16.47
2.705	19.40	18.52	18.19	17.97	17.57	17.18	16.95	16.80
2.793	19.47	18.77	18.44	18.23	17.84	17.45	17.23	17.08
2.880	19.51	18.96	18.64	18.43	18.05	17.66	17.44	17.29
2.967	19.52	19.09	18.78	18.58	18.20	17.81	17.59	17.44
3.054	19.53	19.17	18.87	18.66	18.29	17.90	17.68	17.53
3.142	19.53	19.19	18.89	18.69	18.31	17.93	17.71	17.56

TABLA No. 33

MOMENTOS FLEXIONANTES (M). COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA  
(ton-m)

θ	0	30	60	90	180	360	540	720
	( d í a s )							
0.000	25.39	27.49	28.78	29.82	32.27	35.81	38.52	40.79
0.087	20.81	22.57	23.63	24.49	26.50	29.40	31.63	33.49
0.175	16.46	17.89	18.74	19.42	21.01	23.32	25.08	26.55
0.262	12.39	13.50	14.13	14.65	15.86	17.59	18.92	20.03
0.349	8.60	9.41	9.86	10.22	11.06	12.27	13.20	13.97
0.436	5.12	5.65	5.92	6.14	6.65	7.38	7.93	8.40
0.524	1.98	2.25	2.36	2.45	2.65	2.94	3.16	3.34
0.611	-0.83	-0.80	-0.83	-0.85	-0.92	-1.03	-1.11	-1.17
0.698	-3.28	-3.46	-3.62	-3.75	-4.05	-4.50	-4.85	-5.13
0.785	-5.37	-5.74	-6.01	-6.23	-6.74	-7.48	-8.05	-8.53
0.873	-7.11	-7.65	-8.00	-8.29	-8.98	-9.97	-10.72	-11.36
0.960	-8.49	-9.17	-9.60	-9.95	-10.77	-11.96	-12.87	-13.63
1.047	-9.53	-10.33	-10.81	-11.21	-12.13	-13.47	-14.49	-15.35
1.134	-10.24	-11.13	-11.65	-12.08	-13.08	-14.52	-15.62	-16.54
1.222	-10.64	-11.58	-12.13	-12.58	-13.62	-15.11	-16.26	-17.22
1.309	-10.73	-11.71	-12.27	-12.72	-13.78	-15.29	-16.45	-17.42
1.396	-10.55	-11.55	-12.10	-12.55	-13.58	-15.08	-16.22	-17.17
1.484	-10.12	-11.11	-11.64	-12.07	-13.07	-14.50	-15.60	-16.52
1.571	-9.46	-10.42	-10.92	-11.32	-12.26	-13.60	-14.63	-15.49
1.658	-8.61	-9.51	-9.97	-10.34	-11.19	-12.42	-13.36	-14.14
1.745	-7.59	-8.42	-8.83	-9.15	-9.91	-10.99	-11.82	-12.51
1.833	-6.44	-7.17	-7.52	-7.80	-8.44	-9.36	-10.06	-10.65
1.920	-5.18	-5.81	-6.09	-6.31	-6.83	-7.57	-8.13	-8.60
2.007	-3.85	-4.35	-4.57	-4.73	-5.11	-5.66	-6.08	-6.43
2.094	-2.48	-2.85	-2.99	-3.09	-3.34	-3.68	-3.95	-4.17
2.182	-1.10	-1.32	-1.38	-1.43	-1.53	-1.68	-1.79	-1.88
2.269	0.26	0.19	0.21	0.22	0.26	0.32	0.36	0.39
2.356	1.57	1.66	1.75	1.83	2.00	2.25	2.45	2.61
2.443	2.80	3.06	3.22	3.36	3.66	4.10	4.44	4.71
2.531	3.94	4.36	4.59	4.78	5.21	5.82	6.29	6.68
2.618	4.97	5.54	5.84	6.07	6.61	7.38	7.97	8.46
2.705	5.86	6.58	6.93	7.20	7.84	8.76	9.45	10.03
2.793	6.60	7.45	7.85	8.16	8.88	9.91	10.70	11.35
2.880	7.19	8.15	8.58	8.92	9.71	10.84	11.70	12.41
2.967	7.62	8.65	9.12	9.48	10.32	11.51	12.42	13.18
3.054	7.87	8.96	9.44	9.82	10.69	11.92	12.87	13.65
3.142	7.96	9.06	9.55	9.93	10.81	12.07	13.02	13.81

TABLA No. 34

ESFUERZOS NORMALES (N). COLECTOR SEMIPROFUNDO IZTAPALAPA  
(ton)

$\theta$	0	30	60	90	180	360	540	720
	( d í a s )							
0.000	-7.85	-5.73	-5.14	-4.75	-3.96	-3.02	-2.37	-1.86
0.087	-5.51	-3.21	-2.51	-2.02	-1.01	0.26	1.15	1.87
0.175	-3.35	-0.90	-0.08	0.49	1.71	3.27	4.39	5.30
0.262	-1.38	1.21	2.12	2.78	4.17	6.00	7.33	8.42
0.349	0.38	3.09	4.08	4.81	6.37	8.44	9.95	11.19
0.436	1.91	4.74	5.80	6.59	8.29	10.57	12.24	13.61
0.524	3.23	6.14	7.26	8.10	9.92	12.37	14.18	15.66
0.611	4.31	7.29	8.46	9.34	11.26	13.85	15.77	17.35
0.698	5.16	8.19	9.40	10.31	12.30	15.01	17.01	18.65
0.785	5.79	8.84	10.08	11.01	13.05	15.83	17.89	19.59
0.873	6.19	9.25	10.50	11.44	13.51	16.33	18.43	20.15
0.960	6.38	9.42	10.67	11.61	13.68	16.52	18.62	20.36
1.047	6.35	9.36	10.59	11.53	13.59	16.40	18.50	20.22
1.134	6.13	9.08	10.29	11.21	13.24	16.00	18.06	19.75
1.222	5.73	8.60	9.78	10.67	12.64	15.33	17.33	18.98
1.309	5.16	7.93	9.07	9.92	11.82	14.41	16.33	17.92
1.396	4.44	7.09	8.17	8.99	10.80	13.26	15.09	16.60
1.484	3.58	6.10	7.12	7.89	9.59	11.91	13.64	15.05
1.571	2.62	4.98	5.93	6.65	8.23	10.39	11.99	13.31
1.658	1.56	3.75	4.62	5.28	6.74	8.72	10.19	11.39
1.745	0.44	2.43	3.22	3.82	5.14	6.93	8.25	9.34
1.833	-0.73	1.05	1.76	2.29	3.46	5.05	6.23	7.19
1.920	-1.92	-0.38	0.25	0.71	1.74	3.12	4.14	4.97
2.007	-3.12	-1.82	-1.29	-0.89	-0.02	1.16	2.02	2.73
2.094	-4.30	-3.25	-2.81	-2.48	-1.77	-0.80	-0.09	0.48
2.182	-5.43	-4.66	-4.31	-4.05	-3.48	-2.73	-2.17	-1.72
2.269	-6.51	-6.02	-5.76	-5.57	-5.15	-4.59	-4.19	-3.86
2.356	-7.50	-7.31	-7.14	-7.02	-6.73	-6.37	-6.11	-5.90
2.443	-8.41	-8.51	-8.43	-8.37	-8.22	-8.03	-7.90	-7.80
2.531	-9.21	-9.62	-9.62	-9.61	-9.58	-9.55	-9.55	-9.55
2.618	-9.90	-10.60	-10.67	-10.71	-10.80	-10.92	-11.03	-11.12
2.705	-10.47	-11.46	-11.59	-11.68	-11.86	-12.11	-12.31	-12.49
2.793	-10.92	-12.17	-12.36	-12.48	-12.74	-13.11	-13.39	-13.63
2.880	-11.26	-12.73	-12.97	-13.12	-13.45	-13.89	-14.24	-14.53
2.967	-11.50	-13.14	-13.40	-13.58	-13.95	-14.46	-14.85	-15.18
3.054	-11.63	-13.38	-13.66	-13.86	-14.25	-14.80	-15.22	-15.57
3.142	-11.68	-13.46	-13.75	-13.94	-14.35	-14.91	-15.34	-15.70





## REFERENCIAS.

1. Alberro A., J. y Hernández H., R. "Efecto del Flujo de Agua en el contorno de Túneles". Series del Instituto de Ingeniería. Publicación no. 517. Febrero 1989.
2. Alberro A., J. Notas del curso "Introducción a la mecánica de los medios continuos". DEPMI. (No publicados)
3. Comisión Nacional del Agua. SARH. "Registro de lecturas piezométricas". Pozos de observación 184-2, 195, 202, 208, 243, 247, 303 y 501-1. México 1989.
4. Dirac, S. A. "Estudio Geotécnico del Túnel Semiprofundo Iztapalapa". Informe para D.G.C.O.H.
5. Dirac, S. A. "Información geotécnica Interceptor Central Sistema de Drenaje Profundo". Informe para D.G.C.O.H.
6. Dirac, S. A. "Colector Semiprofundo Iztapalapa". Informe para D.G.C.O.H. México 1984.
7. Dirac, S. A. "Estudio de mecánica de suelos del comportamiento de las lumbreras de la planta de bombeo. Central de Abasto Semiprofundo Iztapalapa". Informe para D.G.C.O.H.
8. Dirac, S. A. "Informe de la instrumentación del Colector Semiprofundo Iztapalapa entre lumbreras 1 y 2". Informe para D.G.C.O.H. Noviembre 1984.
9. Dirac, S. A. "Informe de la instrumentación del Colector Semiprofundo Iztapalapa entre lumbreras 1 y 3". Informe para D.G.C.O.H. Mayo a agosto de 1985.

10. Dirac, S. A. "Informe de la instrumentación del Interceptor Central entre las lumbreras 5 y 6". Informe para D.G.C.O.H. México 1985.
11. Dirac, S. A. "Informe de la instrumentación del Interceptor Central de L5 a L6 en el periodo del 19 de noviembre de 1986 al 21 de abril de 1987". Informe para D.G.C.O.H. México 1987.
12. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. "Reportes diarios de supervisión del Colector Semiprofundo Iztapalapa entre las lumbreras 1 y 3". Informe interno. México 1985.
13. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. "Reportes diarios de supervisión del Interceptor Central entre las lumbreras 5 y 6". Informe interno. México 1987.
14. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. "Reportes diarios de supervisión del Interceptor Centro-Centro entre las lumbreras L2ICC y L4IO". Informe interno. México 1989.
15. Fitzpatrick, L., Kulhawy, F. H. y Rourke, Th. D., "Flow patterns around tunnels and their use in evaluating construction problems" en *Soft Ground Tunneling*. Editores D. Reséndiz y M. P. Romo. Balkema, Rotterdam. 1981.
16. Geotec, S. A. "Estudio de mecánica de suelos relacionado con el comportamiento de la caja de control y la lumbrera no. 6 del Interceptor Central. Av. Cuauhtemoc y A. Obregón". Informe para D.G.C.O.H.
17. Geotec, S. A. "Mediciones e Interpretación Interceptor Centro-Centro. Tramo L2ICC-L4IO". Informe para D.G.C.O.H. México 1989.
18. Geotec, S. A. "Planta de bombeo Canal Chalco - Canal Nacional". Informe para D.G.C.O.H. México 1985.

19. Geotec, S. A. "Túnel L2ICC - L410. Mediciones e Interpretación". Julio-noviembre 1987. Junio-Diciembre 1988. Informe para D.G.C.O.H México 1988.
20. Harr, M. E. "Ground Water and Seepage". Mc Graw Hill B C. EUA 1962. pp. 1-35, 62-63, 265-272
21. Herrera, I. "Theory of multiple leaky acuifers". *Water Resources Research*, vol 6, No. 1. EUA 1970.
22. Marsal, R. y Mazari, M. "El subsuelo de la ciudad de México". Contribución del Instituto de Ingeniería al 1er. Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México 1962. pp 6-14
23. Mendoza, C. J.. "Propiedades Mecánicas de los concretos fabricados en la ciudad de México". Instituto de Ingeniería. Publicación 495. Noviembre 1985.
24. Mofal Consultores, S. A. "Secciones de Convergencia" Túnel Canal Nacional-Chalco. De agosto a octubre de 1989. Informe interno.
25. Montejano B., J. "Adaptación de un sello perimetral al escudo de frente abierto utilizado para la construcción de tuneles en suelos blandos". Reunión Técnica. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México 1986.
26. Peck, R. "Deep excavations and tunneling in soft ground". State of the art. Volume 7th, International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México 1969.
27. Polubarinova-Kochina, P. Ya. "Theory of ground water movement". Princeton University Press. EUA 1962. pp 15-24, 374-375.

28. Rogers, G. L. and Causey, M. L. "*Engineering Structures*". John Wiley and Sons. New York, EUA. 1962. pp 246-252
29. Schmitter, J. M. y Moreno, A. F. "*Túnel con deformaciones excesivas*". VII Conferencia Panamericana de Mecánica de Suelos e Ingeniería Civil. Puerto Rico 1983.
30. Terzaghi, K. y Frölich, O. K. "*Théorie du tassement des couches argileuses*". Dunod, Paris 1939. pp 63 y 138
31. Terzaghi, K. "*Soft soil tunneling*". *From theory to practice in soil mechanics*. John Wiley and Sons. EUA 1960. pp 338-357.